

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

MĚŘENÍ MALÝCH SLOŽITÝCH TVARŮ

MEASUREMENT OF SMALL COMPLEX SHAPES

Student:

Bc. Radek Hrubý

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radek Hrubý**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Měření malých složitých tvarů**
Measurement of Small Complex Shapes

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Měření malých složitých tvarů.
3. Návrh možného řešení vybrané součásti.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] PERNIKÁŘ, J.; TYKAL, M.; VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie, Část metrologie*. Brno : VUT v Brně, 2004. 151 s. ISBN 80-214-199-0.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HUMIENNY, Z. a kol. *Specyfikacja geometrii wyrobów (GPS), Podręcznik europejski*. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe – Techniczne, 2004. 527 s. ISBN 83-204-2954-4.
- [4] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pojmy, definice a parametry struktury povrchu*. 1997.
- [5] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. 1997.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013
Datum odevzdání: 19.05.2014



Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne: 19. 5. 2014



.....

Bc. Radek Hrubý

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, který byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 19. 5. 2014


.....
Bc. Radek Hrubý

Radek Hrubý

Palonín 117

Loštice 789 83

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HRUBÝ, R. *Měření malých složitých tvarů: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 60 s. Vedoucí práce: Doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Diplomová práce se zabývá možnostmi kontroly a vyhodnocení tvaru optického elementu na světlovodu určenému k dennímu svícení osobních automobilů. Kontrola a vyhodnocení je prováděno na měřicích zařízeních, kterými společnost Hella Autotechnik s.r.o. již disponuje. Pomocí předem stanovených kritérií jsou tato měřicí zařízení porovnávána a na základě získaných údajů je zvolen jako nejvhodnější přístroj pro kontrolu a vyhodnocení optického elementu skener Atos Core.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

HRUBÝ, R. *Measurement of small complex shapes. Diploma thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2014, 60 p. Thesis head: Doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

The diploma thesis focuses on the options of checking and evaluation of shapes of optical elements at lightguide intended for daily lightening of passenger cars. The checking and the evaluation is being carried out on the measuring gauges that are used in the company Hella Autotechnik s.r.o. This measuring equipment is compared through in advance stated criteria and on the base of gained statements the scanner Atos Core is chosen as the most suitable equipment for necking and evaluation of optical element.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	9
Úvod	11
1 Obecná charakteristika daného problému.....	12
1.1 Hella ve světě.....	13
1.2 Hella Autotechnik s.r.o. Česká republika.....	13
1.3 Vývoj.....	15
1.4 Výroba.....	16
1.4.1 Předmontáž.....	16
1.4.2 Montáž.....	18
2 Měření malých složitých tvarů.....	19
2.1 Měření v automobilovém průmyslu.....	19
2.1.1 Trendy v měřicí technice.....	20
2.2 Světlovody používané v automobilovém osvětlení	21
2.2.1 Princip šíření světla ve světlovodu	22
2.2.2 Rovnoměrné vyvázání paprsku světla ze světlovodu	23
2.3 Představení oddělení EP.....	26
2.3.1 Vybavení měřicí technikou na oddělení EP	26
2.3.2 Měřicí zařízení pro rozměrovou kontrolu	27
3 Představení měřících zařízení Atos Core 185, Contura G2 a Keyence VHX 2000	28
3.1 Optický digitální skener Atos Core 185.....	28
3.1.1 Popis principu měření	28
3.1.2 Přednosti systému Atos Core.....	29
3.1.3 Rozdělení systémů Atos Core	29
3.1.4 Software pro optický digitální skener Atos Core	30
3.1.5 Příslušenství měřicího systému Atos Core.....	30

3.1.6	Aplikace systému Atos v praxi.....	31
3.2	Souřadnicový měřicí stroj Contura G2	32
3.2.1	Popis principu měření	32
3.2.2	Přednosti měřicího stroje Contura G2.....	33
3.2.3	Kalibrace snímacích systémů	34
3.2.4	Měřicí rozsah stroje Contura G2	35
3.2.5	Softwarové vybavení souřadnicového měřicího stroje Contura G2.....	35
3.2.6	Příslušenství měřicího stroje Contura G2	36
3.2.7	Aplikace souřadnicových měřicích strojů v praxi.....	37
3.3	Digitální mikroskop Keyence VHX 2000.....	38
3.3.1	Popis principu měření	39
3.3.2	Přednosti digitálního mikroskopu Keyence VHX 2000	39
3.3.3	Kalibrace objektivů	40
3.3.4	Příslušenství mikroskopu Keyence VHX 2000.....	40
3.3.5	Aplikace digitálních mikroskopů v praxi.....	42
4	Návrh možného řešení vybrané součásti	43
4.1	Parametry definující základní kritéria pro následné porovnání	43
4.2	Měření optickým skenerem Atos Core 185.....	43
4.2.1	Parametr přípravy měření.....	43
4.2.2	Parametr samotného měření	44
4.2.3	Parametr přesnosti měření	45
4.2.4	Parametr variability měření	45
4.2.5	Parametr vyhodnocení měření.....	45
4.3	Měření souřadnicovým měřicím strojem Contura G2	46
4.3.1	Parametr přípravy měření.....	46
4.3.2	Parametr samotného měření	46
4.3.3	Parametr přesnosti měření.....	47

4.3.4	Parametr variability měření	47
4.3.5	Parametr vyhodnocení měření	48
4.4	Měření digitálním mikroskopem Keyence VHX 2000	48
4.4.1	Parametr přípravy měření	48
4.4.2	Parametr samotného měření	49
4.4.3	Parametr přesnosti měření	49
4.4.4	Parametr variability měření	49
4.4.5	Parametr vyhodnocení měření	49
5	Diskuze experimentu	50
5.1	Porovnání rychlosti přípravy měření	50
5.1.1	Časová úspora spojená s rychlostí přípravy měření	51
5.1.2	Finanční úspora spojená s rychlostí přípravy měření	51
5.2	Porovnání rychlosti samotného měření.....	52
5.2.1	Časová úspora spojená s rychlostí samotného měření.....	52
5.2.2	Finanční úspora spojená s rychlostí samotného měření.....	52
5.3	Možnosti vyhodnocení měření	53
5.3.1	Prezentace naměřených hodnot optickým skenerem Atos Core 185	53
5.3.2	Prezentace naměřených hodnot SMS Contura G2	54
5.3.3	Prezentace naměřených hodnot mikroskopem Keyence VHX 2000	54
6	Technicko - ekonomické zhodnocení.....	55
6.1	Technické zhodnocení.....	55
6.2	Ekonomické zhodnocení	55
7	Závěr	56
8	Seznam použité literatury	57
9	Seznam příloh.....	60

Seznam použitých značek a symbolů

2D	je zkratka výrazu „dvoudimenzionální“, označuje prostředí, které je možné popsat dvěma rozměry.
3D	je zkratka výrazu „trojdimenzionální“, označuje prostředí, které je možné popsat třemi rozměry.
CAD	Computer Aided Design - 2D a 3D počítačové projektování.
CAE	Computer Aided Engineering - počítačem podporované konstruování - zkratka označující software (nebo obor) pro technické výpočty a navrhování.
CAM	Computer Aided Manufacturing - použití počítačového software pro programování výrobních CNC strojů a řízení výrobního procesu.
CCD	Charge-coupled device - je elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace.
CNC	Computer Numerical Control - řízení obráběcího stroje počítačem, resp. programem.
EP	Entwicklung und Prüf Labor – Vývojová a zkušební laboratoř.
IGES	International Graphics Exchange Specification - výměnný souborový formát pro CAD data používaný ve strojírenství.
ISO	International Standard Organization – Mezinárodní standardizační organizace.
LED	Light emitting diode – světlo vyzařující dioda.
N	Newton – jednotka síly, rozměr v základních jednotkách $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
RPS	Reference point systém – ustavení měřeného dílu pomocí referenčních bodů.
SMS	Souřadnicový měřicí stroj.

STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data - výměnný souborový formát pro 3D CAD data používaný ve strojírenství. Specifikován americkým institutem NIST, ISO 10303.
STL	Stereolithographie - při převodu dat pomocí tohoto formátu je objemový model nahrazen ploškami jeho povrchu.
VDA	Verband der Deutsche Automobilhersteller - formát pro převod 3D volně modelovaných ploch
VDI/VDE	Německá technická norma.
apod.	a podobně
mm	Milimetr - je délková jednotka o velikosti 10^{-3} m.
popř.	popřípadě
tzv.	tak zvaný

Úvod

V dnešním světě zaplněném konkurencí se snaží každá společnost získat co největší podíl na trhu a zvláště pokud se jedná o nadnárodní koncern, kterým je společnost Hella. Tato společnost je jedním z nejvýznamnějších celosvětových výrobců osvětlení, specializující se především na výrobu předních světlometů a zadních svítilen pro nákladní a osobní automobily. Hlavním a prvotním cílem společnosti, je zabezpečit potřebnou jakost výrobků, která je spojena se spokojeností zákazníků a to zejména díky systému technických a organizačních opatření.

Ve společnosti Hella Autotechnik s. r. o. se testováním výrobků zabývá oddělení EP, jehož součástí je i metrologická laboratoř. Pod dané oddělení spadají mimo jiné i měřicí souřadnicové stroje, měřicí mikroskop a optické skenovací přístroje. Provádí se zde samozřejmě i kalibrace mnoha druhů měřidel a další činnosti související s výrobním procesem podniku.

Tato diplomová práce se zabývá požadavkem společnosti Hella Autotechnik s.r.o. na výběr vhodného měřicího zařízení, z hlediska předem stanovených kritérií, které by sloužilo ke kontrole a následnému vyhodnocení geometrie optických ploch světlovodu pro denní svícení. Na začátku práce je popsána obecná charakteristika daného problému, dále je zde v krátkosti uvedena historie společnosti Hella až po její současný stav, popis strojního vybavení v podniku a náhled do výrobní produkce této firmy. Je zde také krátce popsáno oddělení EP, které se zabývá měřením a testováním světlometů, zadních svítilen a dalších výrobků z celého koncernu Hella. Dále je v této práci uveden současný stav vybavení měřicí technikou na tomto oddělení. Následně je zde charakterizována obecná problematika návrhu optických ploch světlovodu pro použití v automobilovém průmyslu. Práce také obsahuje popis měřících přístrojů, kterými je možné geometrii optických ploch kontrolovat a vyhodnocovat. Experimentální část je zaměřena na vhodnost použití jednotlivých měřících zařízení, s ohledem na rychlost přípravy měření, rychlost samotného měření a na možnosti vyhodnocování naměřených hodnot. V závěru práce je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení celého projektu.

1 Obecná charakteristika daného problému

Rozvoj strojírenských technologií, zaměřený na dosažení vyšší kvality a užitné hodnoty výrobků a spojený s rozšiřováním součástkové základny i využíváním nových konstrukčních materiálů a progresivních výrobních metod, vytváří stálý inovační tlak na konstrukci a výrobu moderní měřicí a kontrolní techniky. [10]

Vývoj moderní měřicí techniky, přímo ovlivňovaný potřebami metrologické praxe, je především zaměřen na technickou kvalitu měřících prostředků, která je vyjádřena přesností, ale i rozsahem měření, univerzálností využití, produktivitou měření, možnostmi a kvalitou zpracování výsledků a řadou dalších aspektů. Z uživatelského hlediska bude významná i ekonomická dostupnost nové měřicí techniky. Proto předpokladem úspěšnosti přístrojů bude vyváženost jejich technické kvality, uživatelské poptávky a pořizovacích, případně provozních nákladů. [10]

V současné době, kdy se automobilky předhánjí v nabídkách různých vylepšení svých modelů, hrají jednu z významných rolí přední světlomety. Už dávno pryč jsou doby, kdy světlomety v automobilech byly složeny z plechového reflektoru, krycího skla, gumového těsnění a žárovek. S postupem času byly do hlavních světlometů přidávány další funkce jako směrová světla, světla pro přisvětlování zatáček a zejména pak denní osvětlení. Je tedy jasné, že za celou dobu svého vývoje světlomet prošel mnoha změnami. Všechny tyto změny vedly k navýšení počtu součástek a různých komponentů, ze kterých se světlomet současnosti skládá. Zejména denní svícení, které musí mít všechna auta vyráběná od roku 2013 povinně, se stalo u všech automobilek oblíbeným designovým prvkem, kterým se odlišují od své konkurence. Tato světelná funkce může být řešena žárovkou u levnějších provedení světlometů, ale nejčastěji je denní svícení tvořeno z LED diod, které jsou v lampě různě uspořádány či usměrňovány pomocí světlovodů.

Cílem této diplomové práce je poskytnout řešení v rámci měření geometrie optických ploch světlovodů pro denní svícení. Návrh řešení spočívá v určení nejvhodnějšího měřidla pro kontrolu a následné vyhodnocení těchto geometrických ploch. Toto koncepční řešení je přímo uzpůsobeno pro podmínky ve společnosti Hella Autotechnik s. r. o.

1.1 Hella ve světě

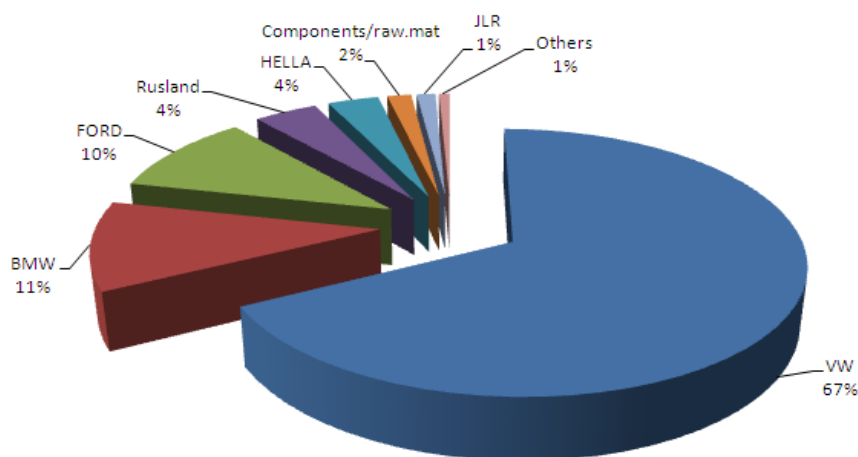
Firma Hella byla založena v roce 1899 ve městě Lippstadt jako rodinný podnik na výrobu světilen pro jízdní kola, vozíky a automobily. Tato německá společnost je nezávislým podnikem s globální působností a s více než 29 000 zaměstnanci ve 100 pobočkách, ve více než 35 zemích světa. V obchodním segmentu koncern Hella vyvíjí a zhotovuje součásti pro automobilový průmysl, systémy osvětlovací techniky a elektroniku. Na sekundárním trhu tato firma navíc disponuje největší obchodní organizací pro automobilové komponenty, diagnostiku a servisní služby v Evropě. V segmentu speciálních aplikací vyvíjí společnost Hella také produkty pro speciální vozidla a pro zcela nezávislé použití, jako je například pouliční a průmyslové osvětlení. V podniku se společnou majetkovou účastí navíc vznikají kompletní moduly pro osobní i nákladní automobily, klimatizační systémy a palubní kabeláž. S více než 5600 zaměstnanci ve výzkumu a vývoji se koncern Hella řadí k významným tržním inovátorům. V hospodářském roce 2012/2013 dosáhl celý koncern obratu přes 5 miliard euro a řadí se tak k nejlepším 50 světovým dodavatelům v oblasti automobilového průmyslu a také k 100 největším německým průmyslovým podnikům. 26 procent obratu je dnes generováno v Číně a Asii, 19 procent v zemích organizace Nafta a v Jižní Americe. [7]

1.2 Hella Autotechnik s.r.o. Česká republika

V oblasti vývoje a výroby světelné techniky automobilového průmyslu působí firma Hella Autotechnik s. r. o. v České republice od roku 1992, kdy byl založen výrobní závod v Mohelnici. Tento závod je dceřinou společností tradičního světového výrobce komponentů pro automobilový průmysl, německé společnosti Hella KG Hueck & Co. Strategickým rozhodnutím německého vedení bylo následovat firmu Volkswagen do České republiky a založit zde závod na výrobu světelné techniky pro nové typy vozů Škoda Auto, a.s. Tento strategický cíl byl realizován v průběhu let 1992 - 1994, kdy byl vystavěn mohelnický závod a zavedena výroba světlometů, zadních světilen, blinkrů a ostřikovačů světlometů pro vozy Škoda Felicia. Úspěšné zvládnutí tohoto projektu bylo odrazovým můstkem pro získání dalších zakázek pro zákazníky z celé automobilové branže. [6]

Od roku 2001 se Hella Autotechnik, s.r.o. podílela spolu s mateřskou firmou stále větší mírou na procesu vývoje výrobků. Výsledkem posouzení schopností mohelnické společnosti z hlediska vývoje výrobků bylo rozhodnutí o zásadní reorganizaci dílčího vývojového střediska Hella Autotechnik, s.r.o. a jeho přeměny na ucelené vývojové centrum za účelem poskytnutí komplexního servisu současným i budoucím zákazníkům. [6]

Mezi největší zákazníky mohelnického závodu patří automobilky VW, která zahrnuje světlomety a zadní světlíky pro vozy Audi, Škoda a Seat, dále BMW, Ford, Vaz, Jaguar, Land Rover, Volvo a další. [6]



Obr. 1.1 – Podíl zákazníků ve firmě Hella Autotechnik s.r.o. [6]

V současné době pracuje ve společnosti Hella Autotechnik s.r.o. 1645 zaměstnanců, na zastavěné ploše přibližně 46 195 m². [6]

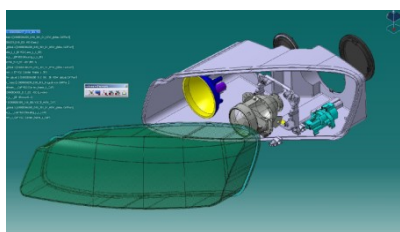


Obr. 1.2 - Výrobní závod Hella Autotechnik s.r.o. [6]

1.3 Vývoj

Světlomety a zadní svítilny nově vyvíjených automobilů musí splňovat stále náročnější provozní podmínky a musí se vejít do stále menšího prostoru. Také doba pro vývoj se postupně zkracuje a vývojový proces je stále víc založen na počítačových modelech a simulačních výpočtech. Světlomety a svítilny jsou výrazným stylistickým prvkem vozu a tomu odpovídá pozornost, kterou jim věnují designéři. Všechny tyto vlivy a faktory dělají ze světlometů a svítilen výrobek, který je zajímavý pro odborníky z různých oborů. Společnost Hella Autotechnik s. r. o. disponuje nejen moderním návrhovým systémem pro konstrukci výrobků, ale i nejmodernějšími technologiemi používanými v oblasti vývoje světelné techniky pro automobilový průmysl. Během vývoje světlometů se uplatní zejména lidé na těchto pozicích: [3]

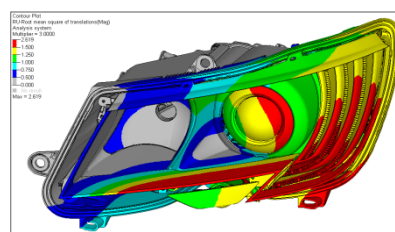
- elektroničtí inženýři
 - řeší vývoj softwaru řídicích jednotek světlometů
 - provádějí testování elektrických obvodů
- konstruktéři
 - řeší koncepční návrh světlometů i detailní mechanickou konstrukci.
 - musí znát zásady konstrukce plastových dílů
- optičtí inženýři a fyzici
 - navrhují geometrii a plochy optické soustavy
 - počítají rozložení světla na zkušební stěně nebo vozovce
- simulační specialisté
 - provádějí pevnostní, teplotní, a kinematické simulace
 - simulují plnění dutin lisovacích forem [3]



a)



b)



c)

Obr. 1.3 - Ukázka činností jednotlivých vývojových pracovišť [6]

(a – CAD model, b – řídicí jednotka světlometu, c – teplotní simulace)

1.4 Výroba

Společnost Hella Autotechnik s.r.o. je zejména výrobní závod zaměřující se hlavně na montáž předních světlometů a zadních skupinových svítilen. Aby tato firma splňovala nejnáročnější nároky ze strany zákazníka, disponuje vlastní lisovnou plastových dílců a nejmodernějšími roboty na montážních pracovištích. Společnost se nezaměřuje jen na výrobky pro osobní a nákladní automobily. Vyrábí se zde také lampy pro autobusy značky Neoplan, nebo obytné karavany Hymer. V roce 2013 bylo v mohelnickém závodě vyrobeno přes 4,5 milionů světlometů a zadních svítilen. [6]

Výrobní portfolio společnosti Hella Autotechnik s.r.o.

- přední světlomety,
- zadní skupinové svítilny,
- brzdové svítilny,
- mlhové světlomety,
- světelné moduly. [6]



Obr. 1.4 – Výrobky společnosti Hella [6]

Výrobní proces podniku je rozdělen na dvě části:

- předmontáž
- montáž

1.4.1 Předmontáž

Hella Autotechnik s. r. o. disponuje nejmodernějšími technologiemi používanými v oblasti světelné techniky pro automobilový průmysl. Předmontážní pracoviště zajišťují výrobu jednotlivých plastových výlisků a jejich následnou povrchovou úpravu, takto upravené výlisky jsou baleny a odváděny do skladů, kde jsou skladovány pro další použití ve výrobním procesu.

Jednotlivé výlisky vyrobené na předmontážních pracovištích prochází následujícími operacemi:

- lisování – duroplastů a termoplastů
 - hydraulické lisy Krauss Mafei, kloubové lisy Demag



Obr. 1.5 – Hydraulický lis KM a kloubový lis Demag [6]

- lakování – reflektorů a krycích skel
 - automatizované lakování zajišťují roboty od firmy ABB



Obr. 1.6 – lakování pomocí ABB robotů [6]

- pokovování – reflektorů a jiných prvků
 - víceplanetové stroje Meta Stokes a jednoplanetové Meta Rot



Obr. 1.7 – Pokovovací stroje Meta Stokes a Meta Rot [6]

1.4.2 Montáž

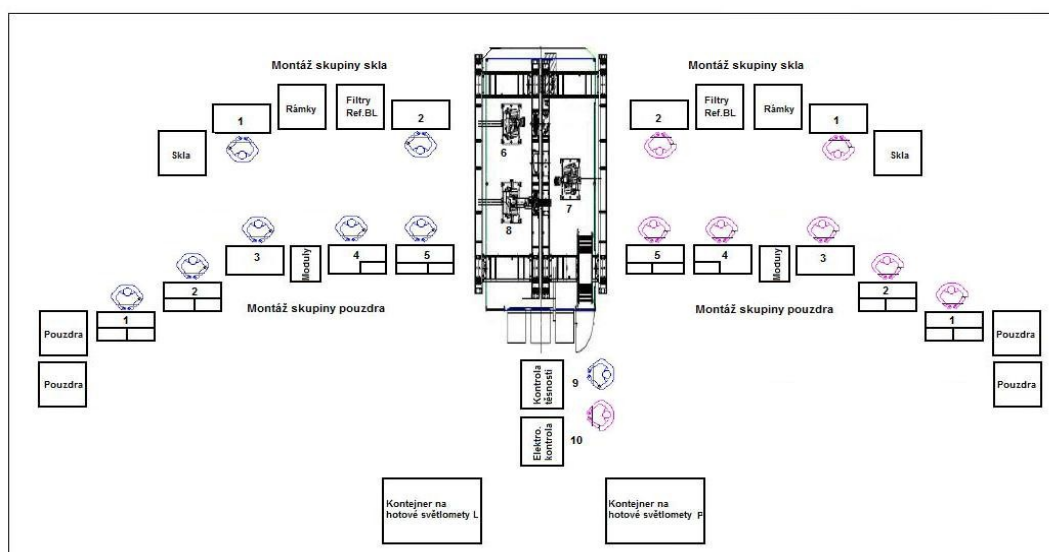
V oblasti montážních technologií byla uvedena do provozu sloučená montážní linka na výrobu světlometů v novém koncepčním řešení, které se stalo součástí standardu koncernového modulového systému. Toto řešení bylo velice rychle uplatněno i v ostatních projektech, což je výsledek velmi úspěšné práce oddělení vývoje montážních linek. Výhodou tohoto typu řešení je vysoký stupeň automatizace a výrazný rozsah polohovatelnosti při lepení krycího skla k pouzdru. V podniku je přibližně 12 montážních pracovišť, na kterých se kompletují výrobky společnosti. [3]



Obr. 1.8 - Montážní linka [6]

Uspořádání montážní linky

Montážní linka je rozdělena na výrobu pravých a levých světlometů a na část pro kompletaci skupiny skla a kompletaci skupiny pouzdra. Ve středu linky naproti robotům jsou umístěny přístroje na elektrickou zkoušku a zkoušku těsnosti.



Obr. 1.9 – Uspořádání výrobní linky

2 Měření malých složitých tvarů

2.1 Měření v automobilovém průmyslu

Největším odběratelem délkových měřidel je dnes především automobilový průmysl, který je společně s ložiskovým průmyslem hlavní hybnou silou rozvoje široké oblasti strojírenské metrologie. Vedle čistě technických záležitostí, souvisejících s vývojem nových progresivních měřicích metod, jsou přednostně řešeny i otázky filozofie a pořádku v řízení kvality. [11]

Tyto nové poznatky velmi rychle přejímají i ostatní průmyslová odvětví, a proto automobilová výroba prioritně ovlivňuje úroveň metrologie celého průmyslu. Bez existence účelově koncipovaných měřidel by výrobci autodílů nemohli zajišťovat požadovanou přesnost a produktivitu výroby. Dosud byly u těchto zařízení používány především kontaktní měřicí metody a technická úroveň snímačů, vyhodnocovacích jednotek matematického zpracování signálů i výsledků měření jsou na velmi vysoké úrovni. Konstrukteři měřidel mají dnes k dispozici bohatou paletu stavebních prvků a díky širokému propracování kontaktních metod jsou schopni pokrýt většinu požadavků odběratelů měřidel. [11]

Nejnovější směry a technologie ve výrobě automobilů ale požadují rychlejší představitelnost měřidel na kontrolu různých typů součástek včetně zrychlení a zjednodušení etalonáže. Toho lze dosáhnout zejména použitím bezkontaktních měřicích metod. To si rychle uvědomili výrobci stavebních prvků a komponentů pro měřidla. Je důležité, že při zachování rozumných cenových hladin se přesností bezkontaktní metody již blíží kontaktním. [11]

Při kontrole světlovodů plnících funkci denního osvětlení ve světlometech jsou hlavními faktory určujícími fotometrický výstup ze světlovodu zejména tvar soustavy vyvazujících zubů a úhel, který svírá zub s podélnou osou světlovodu, dále tvar průřezu světlovodu, úhel, který svírá podélná osa světlovodu s vektorem reprezentujícím směr požadovaného výstupu světla, a rovněž správná volba pozice světelného zdroje, tj. na který konec světlovodu je světelný zdroj umístěn [15]. Všechny tyto faktory musí být nějakým způsobem kontrolovány. Z důvodu stále složitějších tvarů světlovodů, které lze jen stěží upnout tak, aby se nedeformovali při dotykovém měření, je pro kontrolu těchto dílů čím dál více využíváno bezkontaktních měřidel.

2.1.1 Trendy v měřicí technice

Souřadnicové měřicí stroje patří k nejrychleji se rozvíjejícím oblastem strojírenské měřicí techniky. Umožňují rychlou a přesnou kontrolu složitých obrobků. Přispívají k zabezpečení kvality výroby a tím i zvyšování konkurenceschopnosti strojírenských produktů. [12]

Překotný vývoj souřadnicových měřicích strojů souvisí se zpřesňováním a zrychlováním výrobního procesu, se kterým musí měřicí, resp. kontrolní technika držet krok. Například průměrně každých 10 až 15 let se přesnost výroby zvyšuje o jeden stupeň (IT), rovněž se zvyšuje řezná rychlost při obrábění apod. [12]

Vedle souřadnicových měřicích strojů zaznamenávají rozmach optická bezkontaktní měřidla, a to jak na bázi laserové, stínové i odrazové metody, tak i kamerových systémů.

Nejdokonalejší stínové měřicí hlavice již pracují s rozlišením v řádu 0,01 μm (standardně 0,1 μm). Navíc se systém mnohokrát za sekundu kalibruje. Dnes jsou používány zejména pro měření průměru jednoduchých i tvarově složitých hřídelových součástí a naprosto nezastupitelné jsou u zařízení k měření tvrdých součástí (keramika, tvrdokov, povlakované plochy) a součástek, jejichž povrch nesmí být poškozen (vysoce přesné povrchy s nízkou drsností). [13]

Měřicí mikroskopy patří k nejpoužívanějším přístrojům v metrologii geometrických veličin a tvoří podstatnou část vybavení metrologických laboratoří. Jsou to robustní a kvalitní přístroje s dlouhou životností a velmi dobrou přesností měření. Díky kvalitnímu mechanickému provedení a optickým komponentám je na nich možno provádět poměrně velmi přesná měření. Jsou vybaveny klasickými skleněnými čárkovými měřítky a spirálními mikroskopy na odečítání naměřených hodnot.[4] Nové typy mikroskopů představují bezkontaktní měřicí systémy s optickou projekční technologií kombinovanou s video systémem. Nejmodernější přístroje disponují dvouosým optickým a videooptickým systémem, který je vybavený barevnou CCD kamerou, propojením s PC, softwarem a dotykovou obrazovkou pro rychlé ovládání softwaru.

2.2 Světlovody používané v automobilovém osvětlení

Světlovody jsou v současnosti častým optickým prvkem využívaným v exteriérovém nebo interiérovém osvětlení vozidla, kde je zapotřebí světlo ze světelného zdroje prostorově rozložit tak, aby byly zvýrazněny důležité stylistické prvky, jakými jsou např. kontury kolem komor jednotlivých světelných funkcí, okrajů, popř. obrysy celého světlometu, nebo svítilny. Světlovody poskytují výrazné možnosti k vytvoření atraktivního vzhledu světlometů a jsou důležité v interiérovém osvětlení vozidla. Ze stylového hlediska světlovody nabývají nejrůznějších tvarů, kdy např. obepínají komoru jiné světelné funkce, tj. vytvářejí konturu světlometu nebo svítilny, nebo vyplňují a rovnoměrně osvětlují rozsáhlou část svítilny. [15]



Obr. 2.1 – Ukázka možných tvarů světlovodů [6]

Světlovod je optické zařízení určené k vedení světla navázaného ze světelného zdroje k bodu nebo soustavě bodů s minimální ztrátou energie. Vedení světla ve světlovodech je založeno na principu totálního odrazu světla. Světlovod je vyroben z opticky transparentních materiálů, přičemž pro použití v automobilovém průmyslu je využíván čirý plast. Světlo navázané do světlovodu ze světelného zdroje, nejčastěji LED diody, se šíří podél optické osy světlovodem využívajíc totální odraz od válcových stěn světlovodu. Při porušení podmínek totálního odrazu (na světlovodu se nachází vyvazující optický segment v podobě zubu) je světlo vyvázáno ven ze světlovodu směrem k pozorovateli. Záměrným umístěním soustavy optických segmentů se dosáhne rovnoměrného rozsvícení celého světlovodu. [15]

2.2.1 Princip šíření světla ve světlovodu

Navázaný světelný paprsek ze zdroje světla se ve světlovodu šíří postupnými totálními odrazy od stěn světlovodu. Totální odraz nastává na rozhraní dvou prostředí o odlišné hodnotě indexu lomu. Šíří - li se paprsek světla pod úhlem Φ_i , který je větší než kritický úhel Φ_c z opticky hustšího prostředí (tj. prostředí o vyšší hodnotě indexu lomu do prostředí opticky řidšího, tj. o nižší hodnotě indexu lomu), nastává na rozhraní totální odraz (tj. energie světelného paprsku se se 100% účinností vrací zpět do původního, opticky hustšího prostředí). Tato situace je znázorněna na obr. 2.2. Hodnota kritického úhlu Φ_c je dána rovnicí:

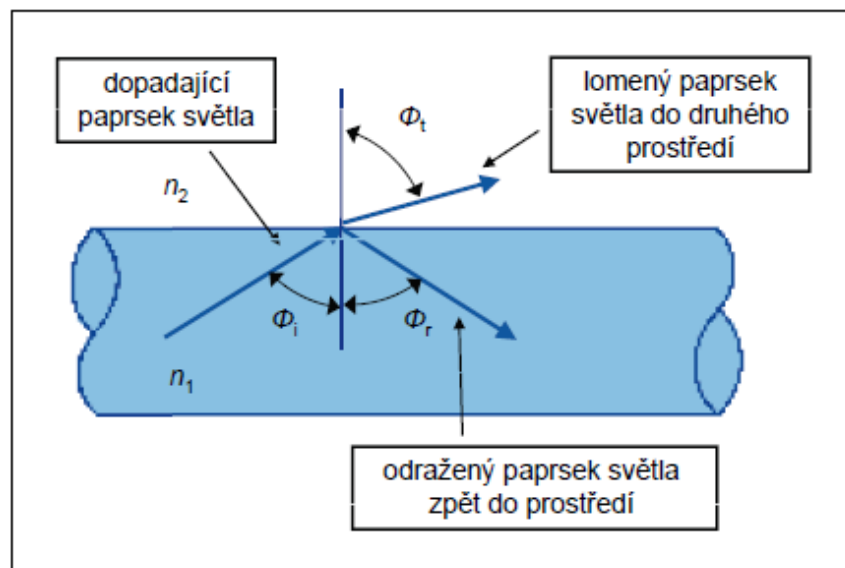
$$\Phi_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1)$$

kde:

n_1 je hodnota indexu lomu prvního, opticky hustšího prostředí,

n_2 je hodnota indexu lomu druhého, opticky řidšího prostředí.

V případě světlovodů používaných v automobilech se hodnota indexu lomu pro většinu materiálů pohybuje kolem hodnoty 1,5 a světlovod je obklopen vzduchem o hodnotě indexu lomu 1. Pro tento případ je světelný paprsek, který dopadne pod úhlem Φ_i větším než 42° , vrácen zpět do původního prostředí. [15]

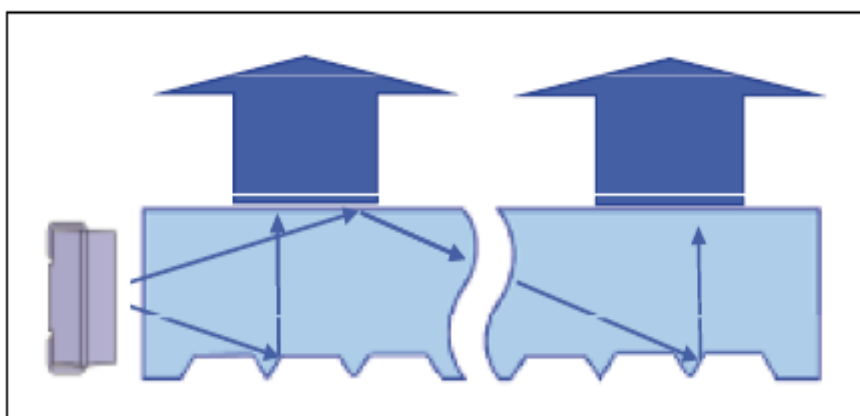


Obr. 2.2 - Odraz a lom paprsku v prostředí světlovodu; pro $\Phi_i > \Phi_c$ nastává totální odraz, tj. všechna energie paprsku se vrací do původního prostředí [15]

2.2.2 Rovnoměrné vyvázání paprsku světla ze světlovodu

K vyvázání paprsku ze světlovodu se používá soustava optických segmentů podél světlovodu, která změní dráhu paprsku tak, aby byla porušena podmínka totálního odrazu. Dochází k tomu, že paprsek dopadající na vyvazující prvek světlovodu je pomocí totálního odrazu vrácen zpět do materiálu světlovodu, kde se šíří k protější válcové ploše. Na této ploše se paprsek láme a opouští světlovod. Soustava optických segmentů je navržena tak, aby směr vyvazaného světla ze světlovodu byl přesně vymezen. [15]

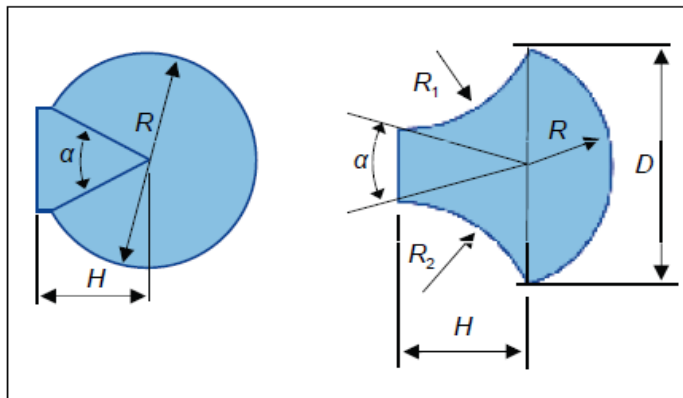
Použití světlovodů ve světlometech a svítilnách vyžaduje, aby tento dílec reprezentoval předem určenou světelnou funkci, nejčastěji se jedná o přední nebo zadní obrysovou funkci, a je tedy zákonnými předpisy definováno světelné rozložení vyzařujícího světla světlovodem. Soustava optických segmentů a její správné natočení k ose světlovodu tento požadavek zajišťují. Optické segmenty jsou navrženy jednak na přímé světlo dopadající ze světelného zdroje a na světlo, které je již odraženo od stěn světlovodu (viz. obr. 2.3). [15]



Obr. 2.3 - Zuby v blízkosti světelného zdroje jsou navrženy na dopad přímého světla, zuby ke konci světlovodu na světlo již odražené [15]

Dalším důležitým parametrem, který značně ovlivňuje konečnou distribuci světla a zároveň má i podstatný vliv na homogenní rozložení světla podél světlovodu, je tvar průřezu světlovodu. V praxi se lze nejčastěji setkat se dvěma typy průřezů světlovodů – kruhovým profilem a hříbovým profilem (obr. 2.4). Výhodou hříbového profilu je snazší možnost nastavit rozptyl světla v ose kolmé na světlovod, který je řízen hodnotou rádia výstupní válcové čočky světlovodu. V obou případech jsou vyvazující zuby umístěny na pomocnou rovinnou plochu, jejíž výška je dána velikostí úhlu α .

Ačkoliv v realitě je výška zubů přibližně jedna třetina průměru světlovodu, z čelního pohledu se zuby jeví rozšířené přes celý světlovod; to je právě zásluhou válcové čočky tvořící výstupní plochu světlovodu. Výška zubů je jeden z důležitých parametrů ovlivňujících celkovou fotometrii a rozsvícený vzhled světlovodu. [15]

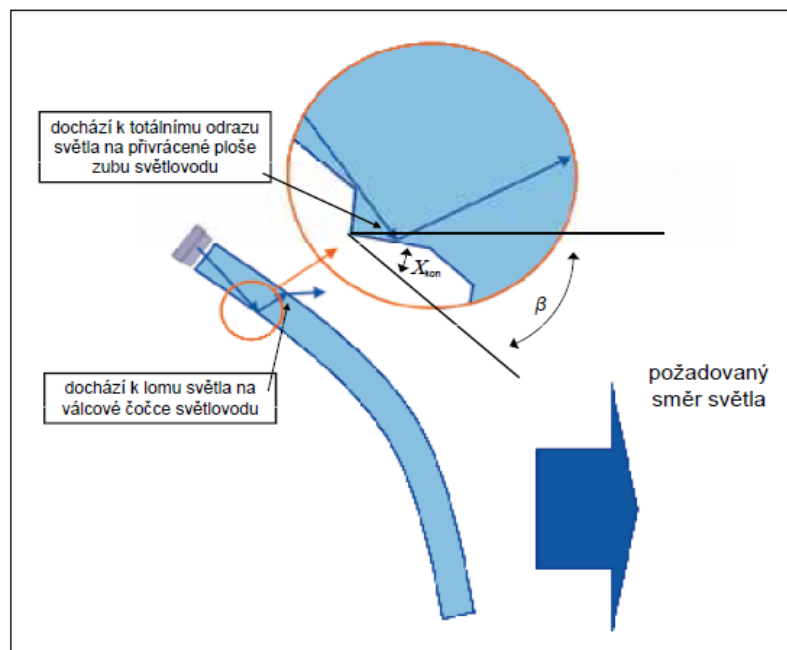


Obr. 2.4 - Příklad geometrického tvaru křivky určující průřez světlovodem [15]

V moderních světlometech a svítelnách již nelze vystačit se světlovody orientovanými kolmo k ose svícení. Světlovod má plně prostorový (3D) tvar, kopírující např. tvar skla svítlny. V tomto případě je křivka určující geometrický tvar světlovodu tažena po 3D křivce reprezentující vodící křivku budoucího světlovodu. Při této konstrukci platí, že podkladová plocha pro budoucí soustavu vyvazujících zubů musí být konstruována tak, aby byla kolmá na požadovaný směr vyzařovaného světla. Natočení zubů je dále ovlivněno geometrickým tvarem světlovodu, pro každý zub je nutné určit tečný úhel β mezi tečnou v daném bodě a požadovaným směrem vyzařovaného světla a o poloviční hodnotu tohoto úhlu natočit vyvazující zub světlovodu. [15]

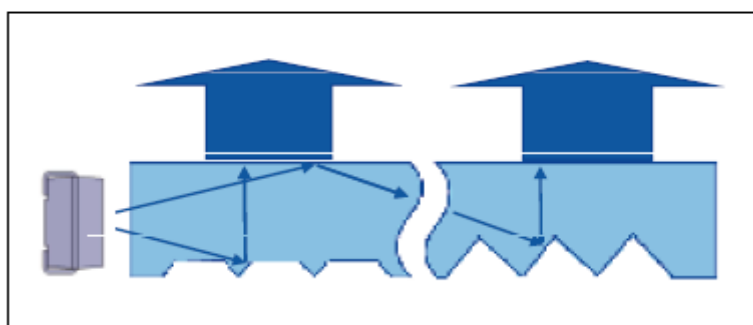
V případě znázorněném na obr. 2.5 paprsek dopadá na optický segment, na kterém pak nastává totální odraz světla směrem do materiálu světlovodu. Tento totálně odražený paprsek se dále lomí na válcové čočce světlovodu do požadovaného, předem definovaného směru. Při umístění světelného zdroje na opačnou stranu světlovodu jde opět o takovou geometrickou podobu zubu, aby zub posílal světlo do správného směru, ale již nedochází k totálnímu odrazu dopadajícího světla na přivrácené ploše zubu, ale pouze k tzv. Fresnelovu odrazu světla. Pro totální odraz se uvažuje 100% účinnost odraženého světla, pro Fresnelův odraz je možné počítat s účinností odrazu pouze 4 až 10 %, zbytek světla se ztrácí.

To je důvod, proč u světlovodů orientovaných v 3D prostoru záleží na pozici světelného zdroje, tj. odkud bude světlovod napájen. Při vypracovávání návrhu zubů je dále důležité dbát na to, aby zuby nejen posílaly světlo do správného směru, ale také rozdělily energii světla tak, aby celý světlovod svítil rovnoměrně. [15]



Obr. 2.5 – Efektivní umístění zdroje světla vzhledem ke světlovodu [15]

Při vypracovávání návrhu zubů je dále důležité dbát na to, aby zuby nejen posílaly světlo do správného směru, ale také rozdělily energii světla tak, aby celý světlovod svítil rovnoměrně. Obr. 2.6 znázorňuje standardní světlovod, který má na straně světelného zdroje velmi malé zuby v řádu desetin milimetrů, jejichž hloubka a šířka postupně narůstají. Vzdálenost mezi vrcholky jednotlivých zubů je konstantní a z kraje světlovodu jsou mezery mezi malými zuby vyplněny rovinnou plochou, na které dochází k totálnímu odrazu světla, a ona tak napomáhá k šíření světla světlovodem a k získání co možná nejrovnoměrnějšího rozložení výstupního světla. [15]



Obr. 2.6 - Typické zuby na začátku a konci světlovodu [15]

2.3 Představení oddělení EP

Oddělení EP se zabývá testováním a měřením veškerých produktů koncernu Hella. Jedná se jak o prototypové díly, tak i o díly, které jsou již ve výrobním procesu. V současné době pracuje na tomto oddělení 24 zaměstnanců, kteří jsou rozdělení do pěti skupin podle druhu zkoušky vykonávané na výrobku. [3]

- elektronické zkoušky
 - zkoušky elektrických obvodů
 - zkoušky řídicích jednotek
- chemické zkoušky
 - korozní zkoušky
 - materiálové zkoušky
- mechanické zkoušky
 - vibrační zkoušky
 - tahové a tlakové zkoušky
 - zkoušky těsnosti
- teplotní zkoušky
 - měření teploty na určených místech výrobku pomocí čidel
 - šokové teplotní zkoušky
 - klimatické zkoušky
- rozměrové zkoušky
 - měření na souřadnicových měřicích strojích
 - měření na optických měřicích strojích
 - měření ručními měřidly

2.3.1 Vybavení měřicí technikou na oddělení EP

Měřicí technici oddělení EP disponují poměrně rozsáhlou škálou měřidel, ať už se jedná o měřidla na posuvném principu, na principu mikrometrického šroubu, číselníkových úchylkoměrů, různých kalibrů, koncových měrek, úhelníků až po souřadnicové měřicí stroje nebo optické měřicí stroje. Zaměstnanci měrového střediska pracují v klimatizovaných laboratořích pro zajištění teplotní stability. Tyto pracoviště jsou izolována od výrobních prostorů z důvodů nebezpečí výskytu vibrací, prachu, či nadměrného hluku. [3]

2.3.2 Měřicí zařízení pro rozměrovou kontrolu

- měřicí mikroskop Keyence VHX 2000,
- měřicí mikroskop Leitz UMW,
- optický měřicí přístroj Tritop,
- portálový měřicí stroj Zeiss Contura G2,
- portálový měřicí stroj Zeiss Prismo 7,
- skenovací měřicí stroj Atos Triple Scan III,
- skenovací měřicí stroj Atos Core.



a)



b)



c)

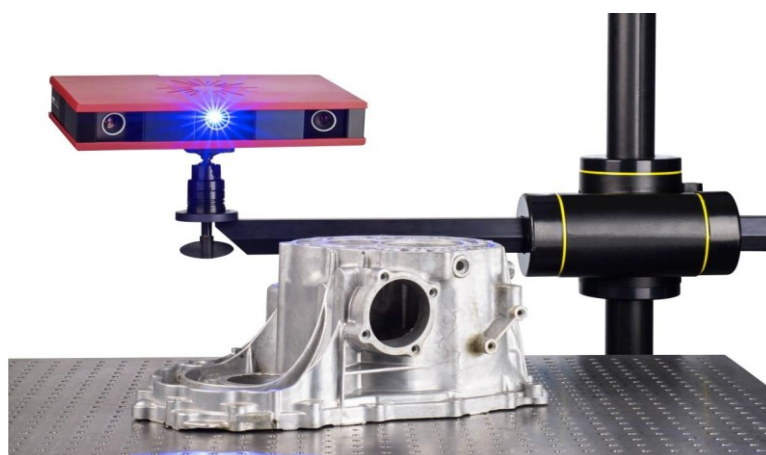
Obr. 2.7 - Měřicí systémy na oddělení EP [8], [9], [16]

(a – mikroskop Keyence 2000, b – skenovací měřicí stroj Atos Core,
c – portálový souřadnicový stroj Contura G2)

3 Představení měřících zařízení Atos Core 185, Contura G2 a Keyence VHX 2000

3.1 Optický digitální skener Atos Core 185

Zařízení Atos Core je systém pro měření 3D souřadnic speciálně navržený pro malé a středně velké objekty. Zařízení Atos Core využívá průkopnickou novou technologii a skener tvoří jádro pro rozsáhlou řadu měřících úloh, jako je 3D skenování, kontrola kvality a plně automatizované měření a inspekce. Systém Atos Core je výsledkem rozsáhlého výzkumu a vývoje a vychází z původní myšlenky Atos. Při navrhování systému Atos Core inženýři německé firmy GOM začali na čistém listu a vytvořili úplně nový typ konfigurace stereo kamery. Optika a elektronika byly poprvé odděleny, což umožnilo vměstnat nejmodernější špičkovou technologii do tohoto zařízení. Tato a spousta dalších inovativních vlastností činí ze systému Atos Core ideální zařízení pro malé a středně velké objekty, a jde tedy o perfektní řešení, pokud je kladen důraz na vysokou kvalitu dat a monitorování procesu. [9]



Obr. 3.1 - Systém Atos Core na oddělení EP [9]



3.1.1 Popis principu měření

Proces měření je založen na principech optické triangulace, fotogrammetrii a metody Fringe Projection. Na povrch objektu jsou promítány pruhy světla, které jsou snímány pomocí dvou kamer s CCD čipem. Software z těchto záběrů vypočítá prostorové souřadnice jednotlivých bodů. Automatické složení jednotlivých záběrů do jednoho celku je zajištěno referenčními značkami nebo metodou Bestfit na skenovaný tvar. Za účelem naskenování celého objektu lze pohybovat skenerem i měřeným objektem. [3]

3.1.2 Přednosti systému Atos Core

- měření téměř všech objektů, bez omezení hmotnosti a velikosti,
- měření horkých dílů,
- měření měkkých dílů,
- měření při vysokém rozlišení a velké citlivosti,
- nižší hmotnost, lepší mobilita,
- přesná měření bez ohledu na světelné podmínky,
- intuitivní ovladatelnost. [23]

3.1.3 Rozdělení systémů Atos Core

				
	ATOS Core 45	ATOS Core 80	ATOS Core 135	ATOS Core 200
Měřicí oblast	45 x 30 mm	80 x 60 mm	135 x 100 mm	200 x 150 mm
Pracovní vzdálenost	170 mm	170 mm	170 mm	250 mm
Vzdálenost naměřených bodů	0,02 mm	0,03 mm	0,05 mm	0,08 mm
Rozměry senzoru	206 x 205 x 64 mm	206 x 205 x 64 mm	206 x 205 x 64 mm	206 x 205 x 64 mm
Hmotnost	2,1 kg			
				
	ATOS Core 185	ATOS Core 300	ATOS Core 500	
Měřicí oblast	185 x 140mm	300 x 230 mm	500 x 380 mm	
Pracovní vzdálenost	440 mm	440 mm	440 mm	
Vzdálenost naměřených bodů	0,07 mm	0,12 mm	0,19 mm	
Rozměry senzoru	361 x 205 x 64 mm	361 x 205 x 64 mm	361 x 205 x 64 mm	
Hmotnost	2,9 kg			
Napájení	90 - 230 V AC			
Provozní teplota	+5 °C až 40 °C, bez kondenzace			

Obr. 3.2 – Rozdělení systému Atos Core [9]

3.1.4 Software pro optický digitální skener Atos Core

Atos Professional

Software Atos Professional se používá k ovládání skeneru, procesu skenování a následnému zpracování získaných dat. Jednoduché grafické prostředí pomáhá při řešení každodenních úkolů v oblasti výrobních procesů, kontroly kvality a zpětné rekonstrukce dat. Atos Professional obsahuje: řízení senzoru, vytvoření a zpracování polygonální sítě, řezů, primitiv a základní funkce software. Nástroje pro kontrolu kvality a analýzy výsledků: Import CAD modelů, import měřicích plánů, vícenásobné způsoby ustavení, barevné mapy odchylek ve 3D a na řezech, odchylky v konkrétních bodech, virtuální posuvné měřidlo, kótování a vytváření inspekčních protokolů. [9]

3.1.5 Příslušenství měřicího systému Atos Core

Všechny měřicí systémy Atos mohou být doplněny o softwarově ovládaný rotační stůl, což je vhodné pro opakovaná měření stejných dílů. V případě požadavku plné automatizace měření existuje možnost připojit ke skeneru průmyslový robot. K měření dutin vyvinula firma GOM tzv. „touch probe“ – dotykovou sondu, která je opatřena referenčními body. Poloha bodu doteku je zaznamenána pomocí viditelných referenčních bodů na držáku sondy. [3]



a)



b)

Obr. 3.3 - Příslušenství systému ATOS Core [9]

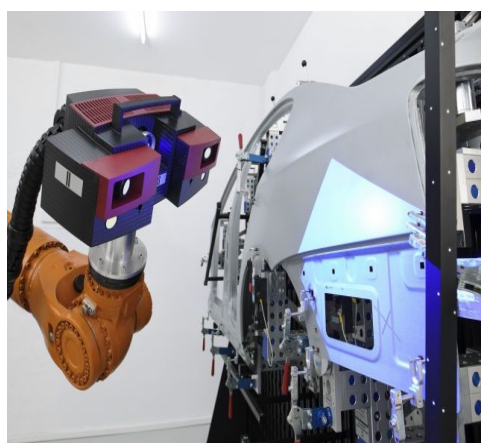
(a – dotyková sonda pro měření dutin, b – průmyslový robot)

3.1.6 Aplikace systému Atos v praxi

Největší rozsah použití našly optické skenery od počátku v metodách Reverse Engineering. Tyto metody zajišťují získání konstrukčních dat z hotového dílu. Prudký nárůst hardwarového výkonu počítačů v uplynulých deseti letech přinesl do celé CAD branže netušené možnosti zpracování množství dat v krátkém čase. V případě optického skenování to znamenalo nejen podstatný nárůst rychlosti a komfortu práce se skenerem, ale především zvýšení rozlišení. Z toho vyplývá i vyšší výsledná přesnost skenování, protože na tutéž jednotku délky připadá více snímaných bodů. Optická metoda proto mohla začít být využívána v kontrole výroby, a to jak kusové, tak i plně automatizované. [3]

Doménou optického skenování ve výrobní kontrole se stala kontrola odlitku a plechových výlisků. Hranice velikosti snímaného tělesa nejsou stanoveny technickým omezením, v kombinaci s fotogrametrickým systémem Tritop lze skenery Atos běžně snímat tělesa velikosti osobního automobilu, největší provedení Atos III se využívá ke kontrole letadel. [3]

Vývoj posledních let dostatečně ukázal přednosti optických metod. Postup měření byl zjednodušen, urychlen a možnosti práce se získanými daty podstatně rozšířeny, to vše současně se zvyšováním přesnosti měření. Lze očekávat, že tento trend bude pokračovat i do budoucna.



a)



b)

Obr. 3.4 - Systémy Atos v praxi [9]

(a – měření karoserie systémem Atos Triple Scan, b – měření malých dílů systémem Atos Core SO)

3.2 Souřadnicový měřicí stroj Contura G2

Portálový souřadnicový měřicí stroj Contura G2 je produktem německé společnosti Carl Zeiss. Vyznačuje se svojí vysokou přesností, flexibilitou a výbornou odolností vůči okolním podmínkám. Měřicí stroj Contura G2 umožňuje špičkové výkony pro rychlé a zároveň velmi přesné měření komplikovaných měřících úloh, a tím zvyšuje produktivitu měření. Na oddělení EP je tento souřadnicový měřicí stroj osazený skenovací hlavou VAST XT, která umožňuje aktivní skenování i jednotlivé snímání měřících bodů. Další příplatkovou výbavou měřicího stroje bylo navýšení měřícího rozsahu v ose Z o 200 mm pomocí opce U – granit. [16]

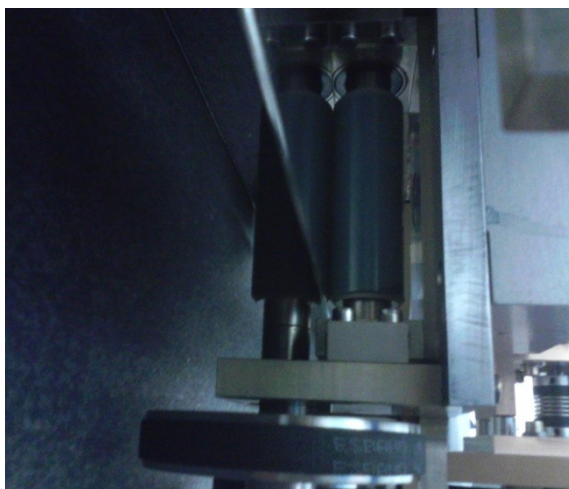


Obr. 3.5 – Portálový souřadnicový měřicí stroj Contura G2

3.2.1 Popis principu měření

Pohony jednotlivých os jsou zajištěny stejnosměrnými motory s tachogenerátorem, který je zapojen přes zápornou zpětnou vazbu, ta slouží k regulaci rychlosti pojezdu. Tyto motory pohánějí dva proti sobě uložené válce, které jsou přitlačené na kovový list, po kterém se odvalují. List je na obou koncích pevně uchycen ke stroji. Pro účely přesného odměřování polohy je každá osa vybavena speciálním pravítkem a čtecí hlavou. Odměřování funguje

na principu odraženého světla a využívá zákonů optiky. Stroj Contura G2 má z důvodu nízké tepelné roztažnosti pravítka zerodurová. Pravítko je opatřeno stupnicí, která je tak jemná, že není viditelná pouhým okem. [3]



a)



b)

Obr. 3.6 - Princip měření na stroji Contura G2

(a – pohon osy Y, b – zerodurové pravítko)

3.2.2 Přednosti měřicího stroje Contura G2

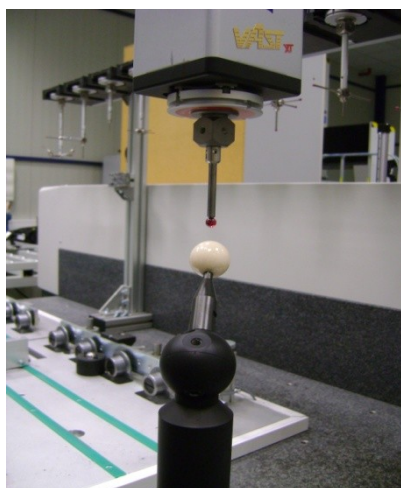
- všechny tři osy jsou vybavené vzduchovými ložisky Carl Zeiss, což zvyšuje pevnost a stabilitu stoje při rychlých pojezdech a zrychlení,
- keramické vedení jsou teplotně stabilní - změny teploty nemají prakticky žádný vliv na výsledky,
- řízení C 99 zabezpečuje počítačovou asistenci dynamických korekcí měřicího stroje a senzoriky v reálném čase, čímž pomáhá zabezpečovat vysokou přesnost,
- volitelný vestavný zásobník na snímače zaručuje vysokou opakovatelnost měření bez nutnosti opakovní kalibrace snímače po výměně.
- provedení HTG (High Temperature Gradient) zaručuje stejnou přesnost i při větším teplotním rozsahu. Jeho součástí jsou senzory teploty stroje i obrobku. [16]

3.2.3 Kalibrace snímacích systémů

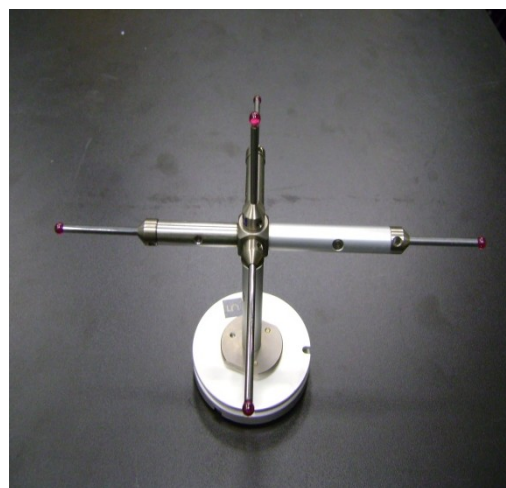
Do měřících hlav se umísťují talířky osazené snímači různých délek a provedení. Každý snímač se skládá z dřívku a rubínové kuličky. Velikost kuliček se pohybuje od 0,5 mm do 8 mm. Dřívky jsou kovové nebo keramické a mají vždy menší průměr než kulička.

Snímače se kalibrují za účelem zjištění jejich rozměrových a pevnostních charakteristik. Rozměrové charakteristiky se určují jako poloha středu snímací kuličky vzhledem k referenčnímu snímači a poloměr této kuličky. Pevnostní charakteristikou je pevnostní tenzor, který obsahuje informace potřebné pro výpočet průhybů snímače v jednotlivých osách. Ke kalibraci se používá kalibrační normál a referenční snímač. Kalibrační normál je velmi přesná keramická koule o známém průměru s minimální tvarovou odchylkou. Referenční snímač je speciální snímač, který je složen z dřívku a rubínové kuličky o přesných parametrech. Tímto snímačem zaměříme kalibrační kouli, tím se načte její okamžitá poloha pro kalibrování ostatních snímačů. [3]

Při kalibrování snímací konfigurace se po dokončení kalibrace na obrazovce počítače zobrazí hodnoty naměřených rozptylů jednotlivých snímačů. Kalibrace může probíhat v ručním, nebo v automatickém režimu. V prvním případě obsluha po nasazení snímacího systému kalibruje pouze jednotlivý snímač. V druhém případě se po zvolení snímacího systému jednotlivé snímače překalibrují automaticky bez zásahu obsluhy. [3]



a)



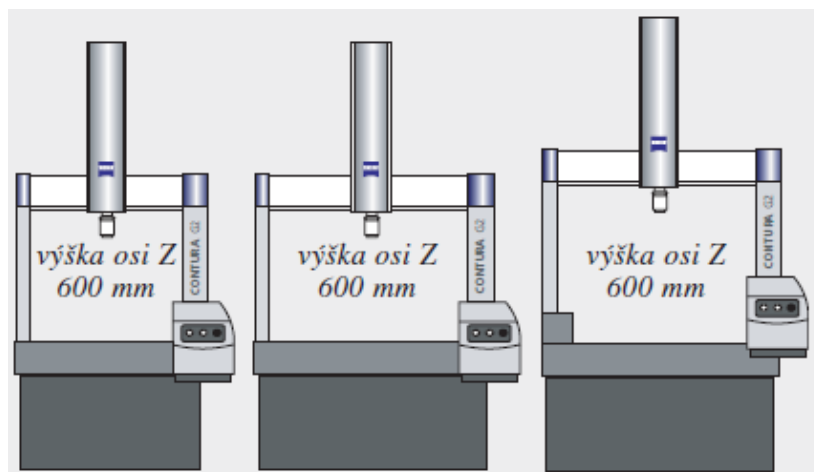
b)

Obr. 3.7 - Snímače a jejich kalibrace

(a – kalibrační normál s referenčním snímačem, b – snímací konfigurace)

3.2.4 Měřicí rozsah stroje Contura G2

Souřadnicový měřicí stroj Contura G2 se dodává ve více měřících rozsazích v jednotlivých osách a to od 700 mm × 700 mm × 600 mm až do 1000 mm × 2100 mm × 600 mm. Pro měření objemnějších výrobků je možné zvětšit efektivní měřicí rozsah v ose Z o 200 mm opcí U-granit. [16]



Obr. 3.8 – Měřicí rozsahy souřadnicového stroje Contura G2 [16]

3.2.5 Softwarové vybavení souřadnicového měřicího stroje Contura G2

- **Calypso** - je standardní software pro všechny pravidelné geometrické tvary s integrovaným CAD interpretem,
- **Calypso Planner** - umožňuje generovat průběh měření přímo z dat CAD modelu. Takto vytvořený plán měření lze bez problému exportovat do formátu DMIS, s opcí Calypso Planner se mohou tedy vytvářet programy měření také offline mimo měřicí stroj,
- **Calypso Simulation** – umožňuje simulovat měření a ukázat případné kolize snímače s měřenou součástí. Tím virtuálně optimalizuje průběh měření a sníží na minimum chyby programování,
- **Holos NT** – umožňuje vytvořit z každé prověřované součásti kompletní CAD datovou větu. Věta může mít výstup ve všech běžných formátech a umožňuje rychle a velice přesně generovat data během vypracování návrhu. [24]

3.2.6 Příslušenství měřicího stroje Contura G2

Skenovací hlava VAST XT

Společnost Carl Zeiss vyvinula skenování v polovině sedmdesátých let, rychle skenování následovalo v roce 1989. V roce 1994 se měřicí stroj Prismo VAST (Variable Accuracy and Speed probing Technology), souřadnicový měřicí stroj použitelný přímo ve výrobě, stal celosvětovým standardem pro rychlé skenování. Tato patentovaná technologie se etablovala i při uvedení stroje Contura v roce 2000.

Skenování uživateli poskytne více podrobnějších informací o součástkách. Plynulé měření prvků a kontur poskytne dostatečně vysokou hustotu bodů, potřebnou pro určení skutečného tvaru obrobku. Měření je spolehlivější, stabilnější a trvá kratší dobu.

Hlava VAST XT umožňuje aktivní skenování a snímání jednotlivých bodů. Díky vysoké rychlosti a schopnosti snímat body ve vysoké hustotě, zvládne VAST XT prakticky všechny zadané úlohy, od měření odchylek tvaru, přes skenování křivek a obecných ploch, až po digitalizaci a mnohé další.

VAST XT je aktivní - nepřetržitě monitoruje vychýlení snímací hlavy. Nízká a rovnoměrná měřicí síla je řízená a regulovaná přímo měřicí hlavou. Tak se minimalizují různé dynamické vlivy, např. prohýbání snímače. [16]



Obr. 3.9 – Skenovací hlava VAST XT

3.2.7 Aplikace souřadnicových měřících strojů v praxi

Souřadnicové měřící stroje jsou především určeny pro prostorovou kontrolu geometrických prvků na součástkách. Uplatnění nachází při vstupní kontrole, občasné nebo stálé mezioperační kontrole a při stoprocentní kontrole. Kladný přínos souřadnicových měřících strojů se projevuje jak v kusové, malosériové, tak i v sériové výrobě a jejich význam narůstá se stupňující se přesností a složitostí kontrolovaných součástí. [4]

Nejvíce nasazované jsou souřadnicové stroje v těchto odvětvích:

Letecký průmysl

- kontrola zařízení, kterým je ukotven motor letadla ke křídlu,
- kontrola a proměřování jednotlivých komponentů křídel,
- podpora při vývoji a kontrole Airbusu A380.

Automobilový průmysl

- vývoj, schvalování, uvádění do provozu nových designových prvků a automobilových studií,
- kompletní kontrola vozidel jako celku (venkovní design – tvar a rozměry karoserie), tak jeho jednotlivých částí (části motorů, prvky podvozků, kontrola interiérových prvků).



Obr. 3.10 – Měření karoserie osobních vozů [16]

Těžký průmysl

- podpora při vývoji a výrobě buldozeru a rypadel jak v oblasti čistě softwarové tak i v oblasti prvních prototypů a modelů,
- výroba a kontrola armádních strojů,
- výroba pracovních, výrobních a přepravních robotů.

3.3 Digitální mikroskop Keyence VHX 2000

Keyence VHX 2000 je digitální mikroskop, kterým můžeme sledovat, měřit a zaznamenávat - to vše v jediném systému. Tento přístroj je všestranný, kombinuje schopnosti konvenčního stereomikroskopu, měřicího mikroskopu a metalurgického mikroskopu. Posouvá digitální mikroskopii na novou úroveň, řada VHX dosahuje 0,1 x - 5000 x zvětšení rozsahu. Jednou z hlavních výhod tohoto digitálního mikroskopu je jeho neuvěřitelně velká hloubka ostrosti, aby bylo možné kontrolovat objekt z libovolného úhlu a provádět 2D/3D pozorování a měření. [8]

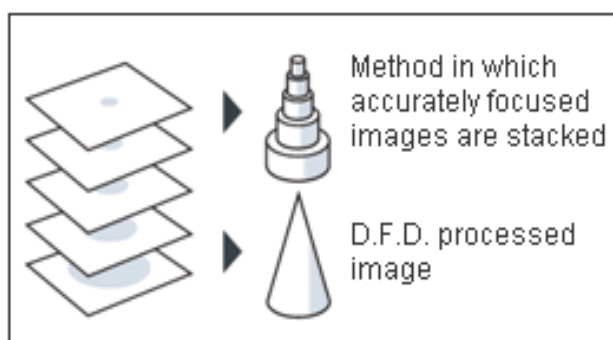
Digitální mikroskop japonské společnosti Keyence byl navržen tak, aby zmírnil nedostatky tradičních optických světelných mikroskopů - povrchová hloubka ostrosti, krátká pracovní vzdálenost, přenositelnost a univerzálnost, ukázkové omezení, atd. Díky integraci pokročilé optiky s CCD kamerou, 17" LCD monitoru, světelného zdroje, řadiče a softwaru, serie VHX zjednodušuje testování a zvyšuje rychlost a efektivitu kontrolního procesu. Zatímco většina mikroskopů je omezena prohlížením objektů přímo na pevném stojanu, řada digitálních mikroskopů VH je schopna provádět ruční pozorování díky kompaktní konstrukci kamery a objektivu. Uživatelé si mohou prohlížet velké vzorky jednoduše umístěním čočky přímo proti cíli. [8]



Obr. 3.11 - Digitální mikroskop Keyence VHX 2000 [8]

3.3.1 Popis principu měření

Digitální mikroskop Keyence umožňuje uživatelům dokončit všechna měření přímo na obrazovce v reálném čase s jen několika kliknutími myši. To je podstatně jednodušší a rychlejší než systémy, které vyžadují, aby uživatel zachytil obrazy, importoval je do PC a následně použil externí software pro dokončení měření. Na základě vytvořených snímků je vypočítán 3D obraz snímaného objektu. Výsledný obraz je vypočítán pomocí D. F. D (Depth from Defocus) metody. Tato metoda analyzuje úroveň kontrastu, nebo zaostření na každé úrovni cíle. Pomocí stupně rozmazání, lze vypočítat informace výšky pro každý pixel, což umožňuje sestavení 3D modelu nebo obrazu v plném zaostření. I když pixel nemůže být zachycen v dokonalém zaostření, výpočet je proveden generováním výškových dat. D. F. D metoda exponenciálně zvyšuje efektivitu 3D konstrukce. Měření lze snadno provést pouhým kliknutím na požadovaná místa na snímku, nebo tím, že systém automaticky extrahuje oblasti zájmu. I když měřený bod, který byl technikem vybrán na obrázku, není zcela na okraji měřeného dílce, funkce automatického výběru hran přepočítá tento bod na správné místo hrany. To pomáhá zlepšit přesnost měření a snižuje možnost lidské chyby. [8]



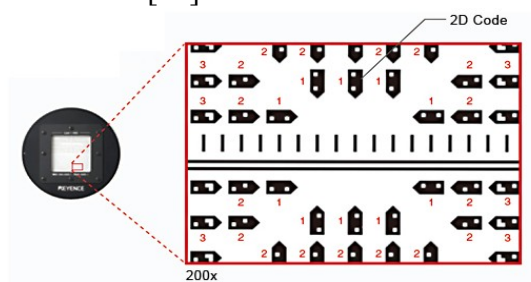
Obr. 3.12 – Generování dat metodou D.F.D [8]

3.3.2 Přednosti digitálního mikroskopu Keyence VHX 2000

- pevná konstrukce zajišťuje stabilní zobrazování,
- měření poddajných dílů,
- měření při vysokém rozlišení,
- přesné měření velice malých dílů,
- snadné zaostření objektu,
- přenositelnost a univerzálnost. [8]

3.3.3 Kalibrace objektivů

Při kalibraci bylo obvykle nutné umístit kalibrační stupnici do vhodné polohy, která zajišťovala správné zaostření objektivu. Tento postup není pomocí funkce „Double'r“ již nutný. Tato funkce umožňuje automatickou kalibraci, která je spuštěna po ustavení měřítka a stisknutí tlačítka. Tím je dosaženo snadné kalibrace pro každou čočku a každý objektiv. 2D kódy jsou uloženy v unikátním Keyence měřítku. Při čtení měřítka systém automaticky přejde na správné místo, na základě zvětšení použitého objektivu. Vzhledem k tomu, je kód automaticky detekován systémem, nenastávají tak žádné kalibrační chyby, takže je dosaženo základní funkce pro přesné měření. [22]



Obr. 3.13 – Kódované měřítko [8]

3.3.4 Příslušenství mikroskopu Keyence VHX 2000

Objektiv VH-Z20W

Objektiv VH-Z20W nabízí pozorování s vysokým rozlišením pro nejčastěji používané zvětšení od 20 x do 200 x. Tento objektiv má lepší hloubku ostrosti, která je standardní součástí stávajících objektivů firmy Keyence. Nabízí dobré telecentricity pro výjimečně jasné a komplexní snímky používané při konstrukci 3D obrazu, nebo při sestavení 3D obrazu pomocí hloubkového složení. [8]



Obr. 3.14 - Objektiv VH-Z20W [8]

Objektiv VH-Z100W

Tento inovativní objektiv nabízí široký rozsah zoomu od 100 x do 1000 x, a zavádí nový standard objektivů splněním protichůdné potřeby s vysokým rozlišením a mimořádné hloubky ostrosti. Podporuje mechanismus Dual Light (rychlé přepínání mezi světlým polem a tmavým polem). [8]



Obr. 3.15 - Objektiv VH-Z100W [8]

Objektiv VH-Z250W

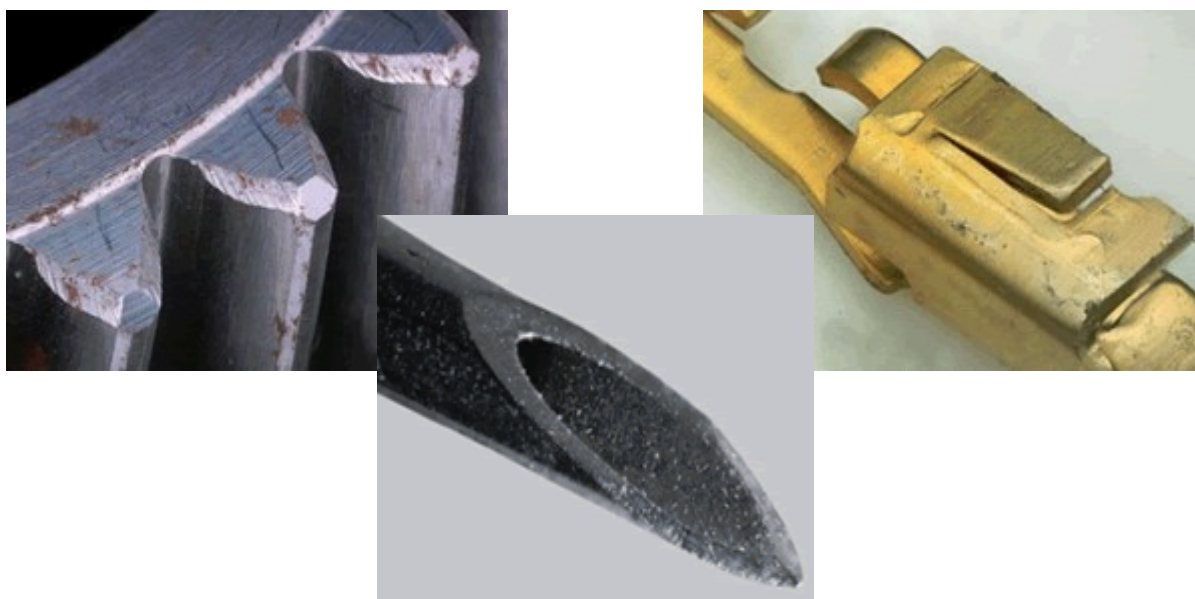
Objektiv je vybaven duálními osvětľujícími mechanismy: koaxiálním vertikálním osvětlením a kruhovým osvětlením. To eliminuje potřebu objektivu nebo výměnu světla a výrazně snižuje čas pozorování. Nabízí pozorování při zvětšení od 250 x do 2500 x. [8]



Obr. 3.16 - Objektiv VH-Z250W [8]

3.3.5 Aplikace digitálních mikroskopů v praxi

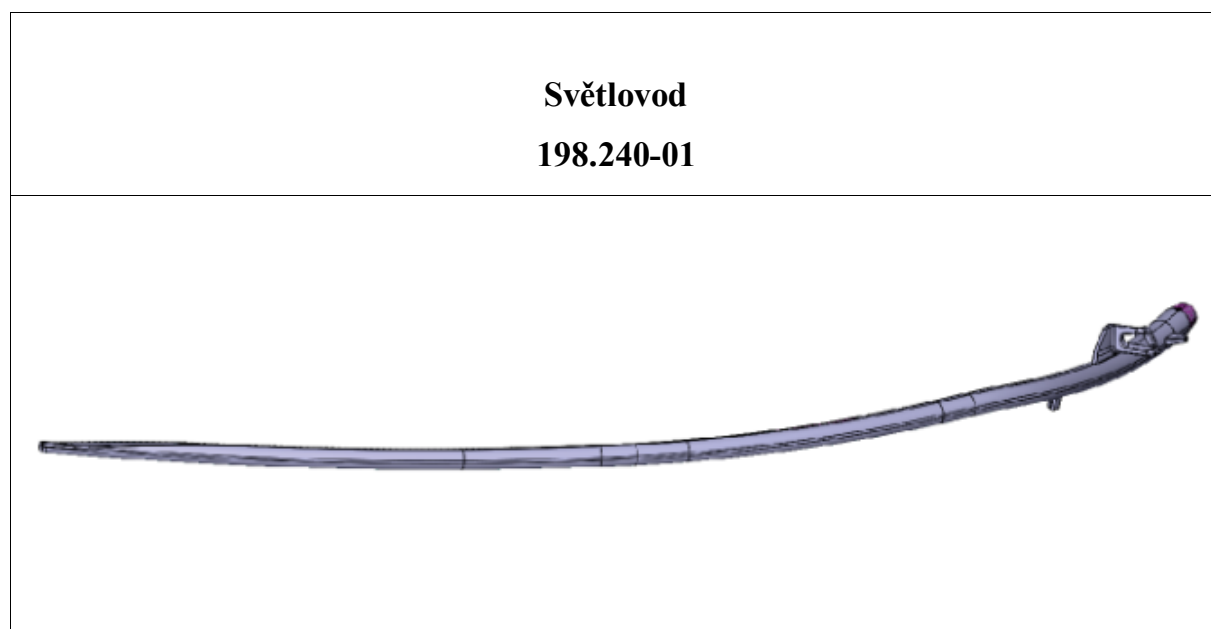
Digitální mikroskopy najdou své uplatnění v mnoha průmyslových oborech. V automobilovém průmyslu lze mikroskopy použít pro kontrolu malých ložisek, nebo ke kontrole opotřebení ozubených kol. Dalším oborem, ve kterém digitální mikroskopy najdou své uplatnění je elektronika. Zde můžeme kontrolovat například kvalitu konektorů, či PCB. Nejen v těchto ale i v dalších oborech jako jsou farmacie, biologie, chemie a jiné lze s úspěchem uplatnit použití digitálních mikroskopů. [8]



Obr 3.17 – Příklady využití digitálních mikroskopů v praxi [8]

4 Návrh možného řešení vybrané součásti

Návrh řešení měření a následného vyhodnocení naměřených hodnot bude aplikován na světlovod používaný v předních světlometech osobních automobilů. Tento světlovod plní dvě světelné funkce a to denní svícení a ukazatel směru jízdy vozidla.



4.1 Parametry definující základní kritéria pro následné porovnání

1. Rychlost přípravy měření
2. Rychlost samotného měření
3. Přesnost měření
4. Variabilita měření
5. Možnosti vyhodnocení měření

4.2 Měření optickým skenerem Atos Core 185

4.2.1 Parametr přípravy měření

Měřený světlovod je vyroben z čirého plastu, v tomto případě je nutné zmatnit díl, aby skener zaznamenal dokonale jeho tvar. To znamená, že je před samotnou kontrolou geometrie optických segmentů nanesen na díl titanový prášek ve formě aerosolu. Po zmatnění světlovodu a zaschnutí titanového prášku je díl položen na podložku, na kterou jsou následně aplikovány referenční body. Tyto body zajišťují transformaci jednotlivých naskenovaných snímků a jejich

průměr je volen na základě měřicího objemu. Pro zajištění světlovodu proti nežádoucímu pohybu je díl k podložce přilepen. Pro rychlejší naskenování, je díl s podložkou položen na rotační stůl, který je součástí optického skeneru. Na obrázku 4.1 je názorně ukázáno připevnění měřeného světlovodu č.d. 198.240-01 k podložce.



Obr. 4.1 – Ustavení světlovodu na podložce

4.2.2 Parametr samotného měření

Na rozdíl od jiných metod měření, má optický skener výhodu v získání vysokého objemu nasnímaných dat. Při snímání jednotlivých zubů světlovodu je nutné skenovací hlavu polohovat do různých pozic tak, aby byla geometrie optických ploch co nejkompletněji nasnímana. Musí zde však být splněna podmínka viditelnosti nejméně tří referenčních bodů. Po nasnímání světlovodu, je díl připasován k CAD modelu pomocí matematického ustavení Bestfit. Tento způsob ustavení v prostoru, připasuje naměřená data k nominálním datům podle metody nejmenších čtverců. Takto můžeme vyrovnat jak celý tvar dílce, tak jednotlivé vybrané části. Připisováním lokální části naskenovaného dílu k nominálnímu modelu, nejsou v takové míře ovlivněny výsledky měření celkovým tvarem dílu. V praxi to znamená, že zakřivení světlovodu z výroby nám při vyhodnocování geometrie optických ploch zubů, může mírně ovlivnit naměřené hodnoty, proto je vhodnější ustavit díl na okolí kontrolovaného zubu.

4.2.3 Parametr přesnosti měření

Přesnost optického digitálního skeneru Atos Core 185 je definovaná společností MCAE systems s.r.o. podle pokynu VDI / VDE 2634. Kalibrace skeneru se provádí pomocí kalibrační desky, která je pro každý měřicí objem různá. Tato deska má přesně definované referenční značky, na základě kterých jsou měřicí objemy kalibrovány. Kalibraci zkušební technik provádí vždy jednou měsíčně. Pokud by došlo k rozkalibrování skeneru během měření, systém zobrazí chybovou hlášku a nedovolí pokračovat v měření. Celková doba kalibrace trvá přibližně 45 minut.

4.2.4 Parametr variability měření

Měření bezkontaktní metodou je velikou výhodou při kontrole měkkých a poddajných dílů, které mohou být různých tvarů a velikostí. Mezi další výhody tohoto způsobu měření patří, téměř neomezená hmotnost snímaného objektu. Díky modrému osvětlení snímaného objektu nejsou kladeny žádné zvláštní nároky na okolní světelné prostředí. Nevýhodou tohoto přístroje je nemožnost měření průhledných a lesklých dílů. Tyto díly musí být na svém povrchu zmatněny. Atos Core 185 se skládá pouze ze tří částí, do kterých patří notebook, stojan a skenovací hlava. Díky tomu je tento přístroj velice rychle rozebratelný a připraven k okamžitému převozu na jiné místo.

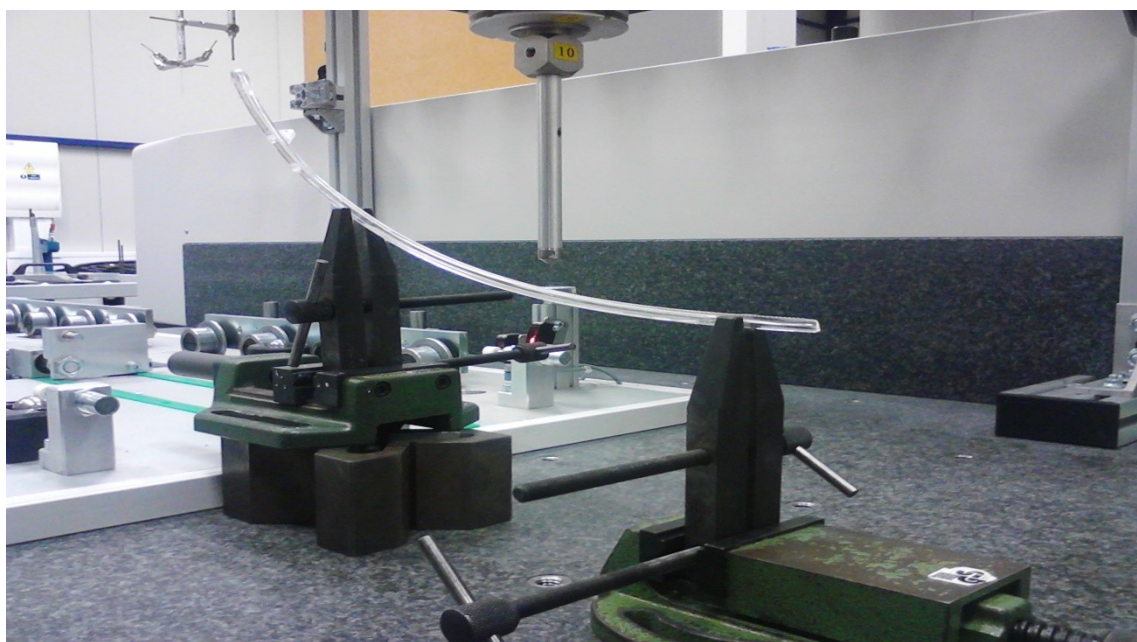
4.2.5 Parametr vyhodnocení měření

Díky transformaci fyzického dílu do počítačového modelu, je možné využít rozsáhlých možností vyhodnocování. Předností tohoto systému je zejména možnost různého matematického ustavení již nasnímaného dílu, bez nutnosti opětovného skenování. Můžeme tak vyhodnocovat na RPS body, metodou 3-2-1, nebo pomocí metody Bestfit. Pro vyhodnocení samotného dílu je k dispozici několik možností. Od možnosti vyhodnocení tvaru dílu k nominálnímu modelu pomocí barevné mapy, přes jednotlivé řezy dílem s naměřenými odchylkami, až po vyhodnocování pomocí rozměrových kót.

4.3 Měření souřadnicovým měřícím strojem Contura G2

4.3.1 Parametr přípravy měření

Před samotným měřením je nutné zkontrolovat díl, jestli není nějakým způsobem poškozen. Při dotykovém měření musí být světlovod upnut, aby nedocházelo k nechtěnému pohybu dílu na pracovní ploše, při snímání jednotlivých bodů. Dílec je upnut pomocí upínek tak, že zuby světlovodu jsou natočeny kolmo ke snímacímu dotyku souřadnicového stroje. Tímto je zaručena dobrá snímatelnost všech měřících bodů, potřebných ke kontrole geometrie optických ploch.



Obr. 4.2 – Ustavení světlovodu v upínkách

4.3.2 Parametr samotného měření

Měřicí program je vytvořen v softwaru Holos NT, jedná se o software, který poskytuje snadné a pohodlné funkce pro měření volných tvarových ploch a pravidelných geometrických elementů. Je možné vyhodnocovat odchylky tvaru a polohy od CAD modelů. CAD modely jsou získávány od konstruktérů, kteří pomocí převodníku v softwaru Catia V5 převedou model do požadovaného formátu VDA nebo IGES. Po načtení tohoto CAD modelu musí měřící technik určit polohu měřících bodů, přidá příslušné technologické parametry, nadefinuje snímače, bezpečnostní roviny, a toleranční meze. Pro rychlé ustavení v prostoru je díl vyrovnán metodou 3-2-1, tato metoda odebere všech šest stupňů volnosti dílu v prostoru

a zajistí nám, že snímací dotyk o průměru 0,5 mm najede přesně na definované body optických segmentů a nebude tak docházet ke kolizím. Pro zjištění tvarové odchylky, je nutné naměřené body optických ploch zubu opětovně připasovat k modelu. Výsledky lokálně připasovaného optického segmentu, tak nejsou ovlivněny celkovým tvarem světlovodu.

4.3.3 Parametr přesnosti měření

Společnost Carl Zeiss, která je výrobcem souřadnicových strojů Contura G2 definuje přesnost měření podle pokynu VDI / VDE 2617. Pro zajištění přesnosti nechává oddělení EP všechny souřadnicové stroje kalibrovat v ročních intervalech. Kalibrace je prováděna techniky společnosti Carl Zeiss, kteří po dobu jednoho týdne pomocí různých etalonů kontrolují přesnost měřicího stroje. Přesnost snímacích konfigurací je kontrolována jednou měsíčně zkušebním technikem oddělení EP. V případě zjištění vysoké odchylky kalibrovaného snímače, je nutné překontrolovat čistotu kalibračního etalonu, popřípadě snímacího dotyku. Pokud i tak bude snímač vykazovat vysoký stupeň nepřesnosti, musí být provedena výměna dotyku za stejný typ a poškozený dotyk je vyřazen.

4.3.4 Parametr variability měření

Parametrem variability jsou myšleny všechny možnosti využití SMS Contura G2. Mezi tyto možnosti můžeme zařadit měření složitých tvarů jednotlivých dílů, měření dílů různých materiálů a velikostí. Měřicí technik však musí vždy zvolit takové upnutí výrobku, které zajistí správné snímání měřicího bodu dotykem a nebudou tak ovlivněny výsledky měření nesprávným odečtem polohy sejmutého bodu. V praxi to znamená, že poloha bodu je vyhodnocena na kuličkový dotyk, ale ve skutečnosti bod byl sejmut dříkem snímače. Ustavení dílu na pracovním stole by mělo být voleno tak, aby nedocházelo k jeho přestavení v průběhu samotného měření.

Při kontaktním měření působí snímací dotek na díl silou o velikosti 0,2 N. Z tohoto důvodu nelze zaručit objektivní měření poddajných materiálů, jako jsou plechové či plastové výlisky. Na SMS Contura G2, které patří oddělení EP, mohou být měřeny výrobky o rozměrech, které jsou omezeny měřícím rozsahem stroje 1000 mm × 1600 mm × 800 mm, a jejich hmotnost nepřesahuje 1500 kg.

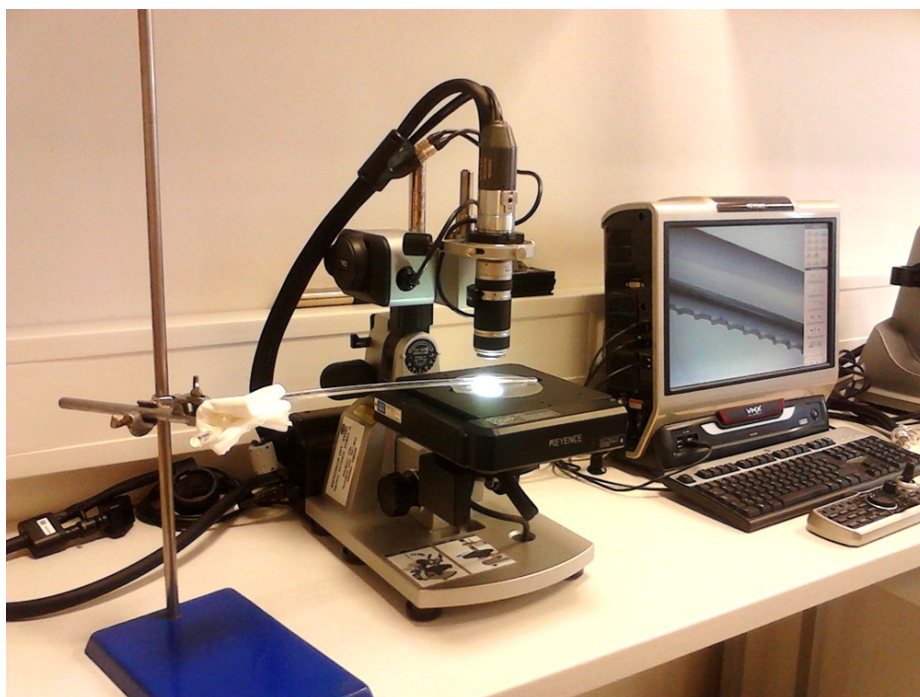
4.3.5 Parametr vyhodnocení měření

Výsledky měření jsou porovnány s matematickým modelem součásti a mohou být prezentovány v různých formátech. Data mohou být vytištěna v podobě textového protokolu, odchylky mohou být graficky zobrazeny na modelu CAD ve vektorovém tvaru. Jednotlivé vektory odchylek lze zobrazit v odlišných barvách v závislosti na tolerančních mezích. Okamžité vyhodnocení roztečí, průměrů, úhlů po nasnímání elementů. Při použití skenovacího systému lze graficky vyhodnotit kruhovitost, válcovitost, rovinnost apod. Výsledky měření je možné použít pro statistické řízení výroby.

4.4 Měření digitálním mikroskopem Keyence VHX 2000

4.4.1 Parametr přípravy měření

Měřený světlovod musí být před kontrolou geometrie očištěn od nežádoucích nečistot stlačeným vzduchem. Následně je díl na jedné straně upnut do laboratorní svorky a druhá strana je volně položena na pracovní stůl digitálního mikroskopu. Pokud by zakřivení světlovodu nedovolilo zaměřit geometrii zubů, tímto způsobem upnutí, musí být jednotlivé optické segmenty vyřezány a upnuty přímo na pracovním stole.



Obr. 4.3 – Ustavení světlovodu v přípravku

4.4.2 Parametr samotného měření

Aby byla geometrie optických ploch co nejlépe zaměřena, musí být segment nastaven kolmo k pozorovacímu objektivu, tak aby byly vidět zejména obrysové hrany optického segmentu. Pro měření geometrie zubu je použit objektiv VH-Z20W. Po vytvoření snímku pozorovaného segmentu přichází na řadu samotné měření. Měření vychází z nanesení jednotlivých přímk na hrany zubu. Mezi těmito přímkami jsou následně vyhodnoceny úhly, které mezi sebou svírají. Dále je tu možnost určení poloměru zaoblení špičky zubu. Nadefinováním bodů na vytvořený snímek se automaticky vyhodnotí hledaný poloměr.

4.4.3 Parametr přesnosti měření

Přesnost měření digitálního mikroskopu je ověřována periodickou kalibrací technikem firmy Keyence. Tato kalibrace je prováděna dvakrát do roka. Technik pomocí speciálního kalibračního etalonu překontroluje správné nastavení mikroskopu a naměřené výsledky, ve formě kalibračního protokolu, předá uživateli.

4.4.4 Parametr variability měření

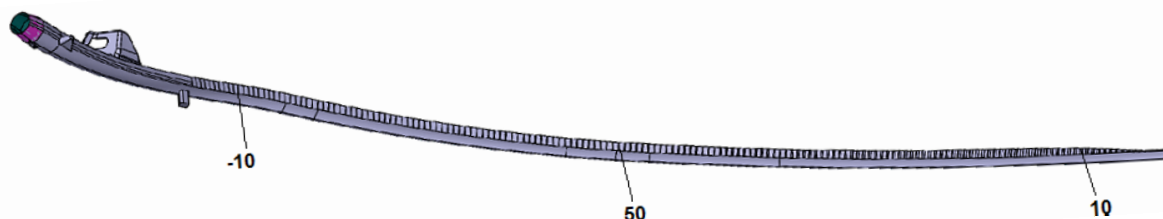
Měřicí rozsah mikroskopu je omezen koncovými polohami pracovního stolu a tak rozměry upnutého dílce nemohou přesahovat hodnoty 100 mm × 100 mm × 160 mm. Výhodou je možnost kontroly průhledných a lesklých materiálů. Digitální mikroskop je díky své konstrukci, lehce přenositelný. Skládá se z odnímatelného objektivu, stojanu s polohovacím stolem a LCD monitoru.

4.4.5 Parametr vyhodnocení měření

Naměřené hodnoty mohou být vyhodnocovány několika způsoby. Co se týče kontrolování rozměrů, lze použít několik přednastavených funkcí, jako jsou například: vzdálenost dvou bodů, rádius, uhel mezi přímkami atd. Pro vyhodnocování těchto základních funkcí musí být snímek ve 2D formátu. Trojrozměrného vyhodnocování je využíváno zejména při kontrole povrchových deformací.

5 Diskuze experimentu

Pro určení odpovídající geometrie optických ploch jsou vybrány optickými inženýry vždy tři segmenty z celého světlovodu, na kterých budou kontrolovány důležité úhly a poloměr zaoblení zubu. Většinou se jedná o segment, který je na začátku, v prostřední části a na konci světlovodu. Pokud tyto segmenty budou po změření v tolerancích, platí předpoklad, že všechny ostatní optické plochy světlovodu jsou také v tolerancích.



Obr. 5.1 – Kontrolované optické segmenty

V daných experimentech jsou porovnávány možnosti měření geometrie optických ploch světlovodu na různých měřících strojích. Jsou zde posuzovány zejména parametry jako rychlost přípravy měření, rychlost samotného měření, přesnost měření, variabilita měření a možnosti vyhodnocení měření. K určení vhodného měřidla pro budoucí kontrolu vyráběných světlovodů, byla vybrána zejména kriteria, která souvisí s celkovou dobou přípravy měření, dobou samotného měření a s možnostmi vyhodnocení měření. První dvě kritéria jsou důležitá z finančních nákladů vynaložených na kontrolu optických segmentů. Třetí kritérium hlavně proto, že výsledky měření musí optickým inženýrům a konstruktérům podat co nejvíce informací o naměřeném tvaru zubu.

5.1 Porovnání rychlosti přípravy měření

Při porovnávání rychlosti přípravy měření je důležité zmínit, že každá metoda měření, má svá specifika. U optického digitálního skeneru je nutné dílec zmatnit pomocí titanového prášku ve formě aerosolu a díl připevnit k podložce, na které jsou nalepeny referenční značky. U souřadnicového stroje musí být díl připevněn pomocí upínek tak, aby nedoházelo k nežádoucímu pohybu světlovodu při měření a musí být zajištěn dobrý přístup k celé geometrii zubu pro snímání bodů dotykem. Při měření na digitálním mikroskopu musí být ustavení světlovodu zajištěno tak, aby byla zaručena kolmost optického segmentu vůči objektivu.

5.1.1 Časová úspora spojená s rychlostí přípravy měření

Hodnocení časové úspory přípravy měření vyšlo nejlépe pro optický skener Atos Core 185. Z tabulky 5.1 lze vyčíst, že nutná doba přípravy dílce pro měření na optickém skeneru zabere 20 minut, což je oproti 22 minutám na SMS Contura G2 úspora 2 minuty a proti 25 minutám na digitálním mikroskopu Keyence VHX činí tato úspora 5 minut.

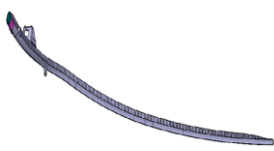
Tab. 5.1 – Časová úspora spojená s rychlostí přípravy měření

Světlovod č. d. 198.240-01			
	Contura G2	Atos Core	Keyence
Příprava dílu [min]	2	15	10
Ustavení dílu [min]	20	5	15
Celkový čas [min]	22	20	25

5.1.2 Finanční úspora spojená s rychlostí přípravy měření

Pro následné porovnání finanční úspornosti je cena za hodinu vykonané práce na všech kontrolních pracovištích určena částkou 1000 Kč. Z tabulky 5.2 je patrné, že příprava měření optických segmentů světlovodu č. d. 198.240 – 01 na kontrolním pracovišti osazeném optickým skenerem Atos Core 185 přinese nejnižší celkové náklady 200 Kč. Pracoviště se SMS Contura G2 vykazuje náklady spojené s přípravou měření částkou 220 Kč. Nejvyšší náklady byly zaznamenány, při kontrolování geometrie segmentů na digitálním mikroskopu Keyence VHX, kde výsledná částka činí 250 Kč.

Tab. 5.2 – Finanční úspora spojená s rychlostí přípravy měření

Světlovod č. d. 198.240-01				
		Contura G2	Atos Core	Keyence
	Hodinová sazba [Kč / hod]	1000	1000	1000
	Celkový čas [hod]	0,22	0,20	0,25
	Celkové náklady [Kč]	220	200	250

5.2 Porovnání rychlosti samotného měření

Do hodnocení rychlosti samotného měření dílu optickým skenerem Atos Core 185 je započítán čas, který je potřebný pro naskenování dostatečné tvarové plochy optických segmentů světlovodu a jejich vyhodnocení. Čím lépe jsou optické plochy naskenovány, tím přesnější a vypovídající jsou vyhodnocené výsledky. U měření optických segmentů souřadnicovým strojem Contura G2 je do rychlosti měření započítána doba, za kterou musí technik naprogramovat přesné polohy vyrovnávacích a měřících bodů, včetně jejich bezpečnostních poloh. Rychlost měření digitálním mikroskopem Keyence VHX 2000 určuje doba, za kterou operátor zanele jednotlivé pomocné geometrické prvky (přímky, kružnice) a následně vyhodnotí naměřené údaje.

5.2.1 Časová úspora spojená s rychlostí samotného měření

Hodnocení časové úspory rychlosti samotného měření vyšlo nejlépe pro optický skener Atos Core 185. Z tabulky 5.3 lze vyčíst, že nutná doba pro kontrolu dílce na optickém skeneru zabere 22 minut, což je oproti 70 minutám na SMS Contura G2 úspora 48 minut a proti 32 minutám na digitálním mikroskopu Keyence VHX 2000 činí tato úspora 10 minut.

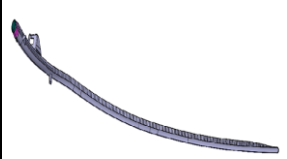
Tab. 5.3 – Časová úspora spojená s rychlostí samotného měření

Světlovod č. d. 198.240-01			
	Contura G2	Atos Core	Keyence
Vytvoření měřicího programu [min]	60	2	2
Čas samotného měření [min]	10	20	30
Celkový čas [min]	70	22	32

5.2.2 Finanční úspora spojená s rychlostí samotného měření

Pro následné porovnání finanční úspornosti je opět cena za hodinu vykonané práce na všech kontrolních pracovištích určena částkou 1000 Kč. Z tabulky 5.4 je patrné, že kontrola optických segmentů světlovodu č. d. 198.240 – 01 optickým skenerem Atos Core 185 přinese nejnižší náklady spojené s vyhodnocením rychlosti samotného měření, které činí 220 Kč oproti 700 Kč na SMS Contura G2 a 320 Kč na digitálním mikroskopu Keyence VHX 2000.

Tab. 5.4 – Finanční úspora spojená s rychlostí samotného měření

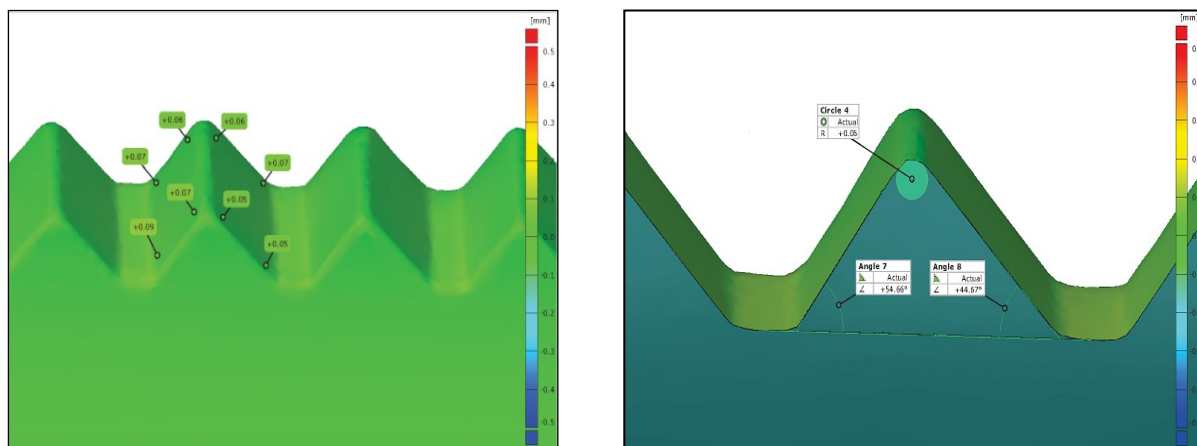
Světlovod č. d. 198.240-01				
		Contura G2	Atos Core	Keyence
	Hodinová sazba [Kč / hod]	1000	1000	1000
	Celkový čas [hod]	0,70	0,22	0,32
	Celkové náklady [Kč]	700	220	320

5.3 Možnosti vyhodnocení měření

Důležitým parametrem pro optické inženýry, kteří navrhují geometrii optických segmentů, je způsob, jakým jsou naměřené hodnoty vyhodnocovány. Obecně zde platí, čím více údajů o změřeném světlovodu je k dispozici, tím lépe lze nalézt vady, které způsobují nedostatečnou funkčnost tohoto dílu.

5.3.1 Prezentace naměřených hodnot optickým skenerem Atos Core 185

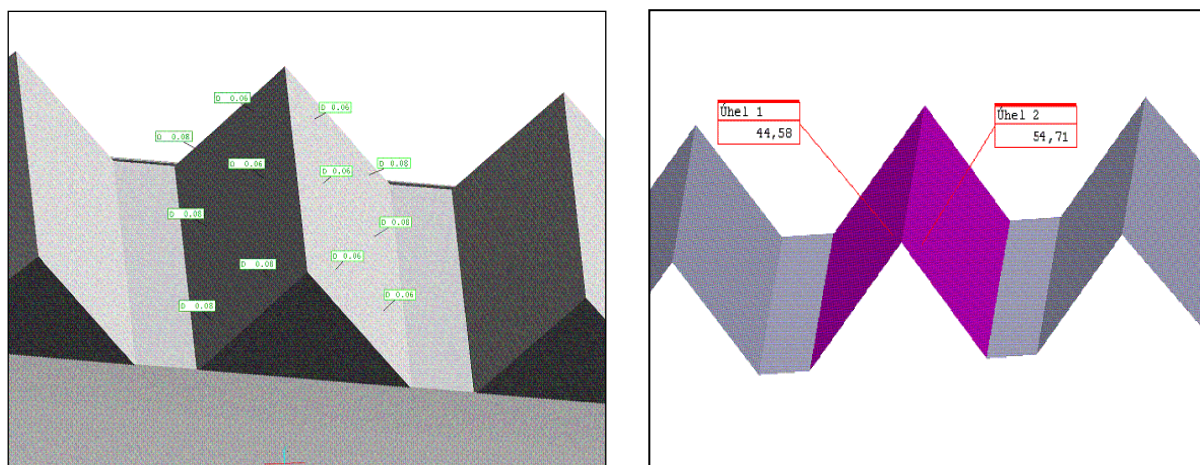
Optický digitální skener Atos Core 185 po nasnímání měřeného dílu, dokáže získané výsledky vyhodnotit různými způsoby. Optický segment může být vyhodnocen barevnou mapou symbolizující tvarovou odchylku od nominálního modelu v určených tolerancích. Dále je zde možnost vytvoření řezu segmentem v různých hloubkách jednotlivých os a tím detailně získán přehled o tvaru daného řezu. Další způsob prezentace výsledků je schopnost vytažení řezu optického segmentu do 2D obrazu a následné okótování.



Obr. 5.2 – Možnosti vyhodnocení měření optickým skenerem Atos Core 185

5.3.2 Prezentace naměřených hodnot SMS Contura G2

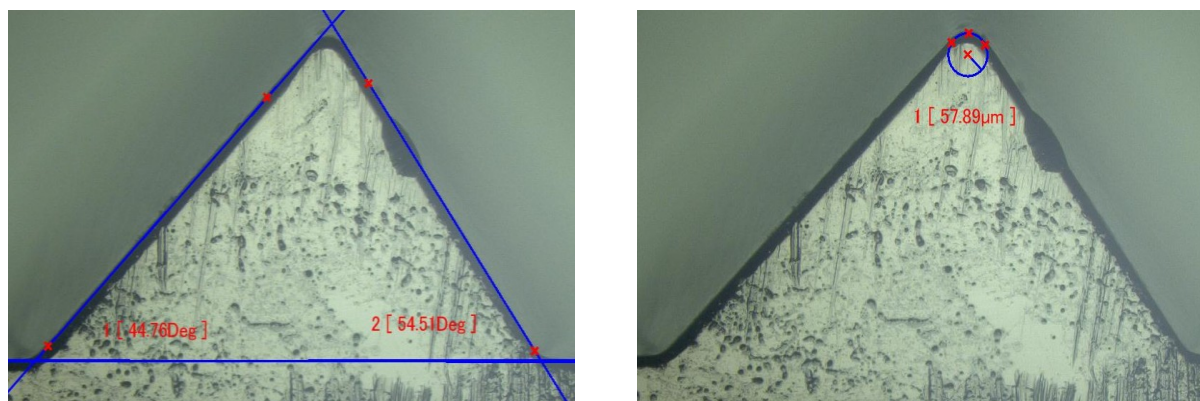
Souřadnicový měřicí stroj Contura G2 musí pro získání naměřených hodnot dotykově sejmout jednotlivé body. Následně pak aktuální souřadnice bodů porovnává s nominálními hodnotami a vyhodnocuje jejich odchylky. Tyto odchylky jsou vyhodnocovány na protokolu v místech, kde byly jednotlivé body nasnímány. Dále je zde možnost pomocí nejméně tří sejmutých bodů získat rovinu, u které může být vyhodnocen úhel svíraný s jinou zaměřenou rovinou. Nevýhodou dotykového měření je nemožnost kontroly zaoblení zubu.



Obr. 5.3 – Možnosti vyhodnocení měření SMS Contura G2

5.3.3 Prezentace naměřených hodnot mikroskopem Keyence VHX 2000

V případě vyhodnocení naměřených hodnot digitálním mikroskopem Keyence VHX 2000 se dá hovořit o kótování 2D snímků. Na snímek získaný v určitém měřítku jsou zakresleny pomocné elementy, na základě kterých vyhodnocujeme potřebné údaje.



Obr. 5.4 – Možnosti vyhodnocení měření mikroskopem Keyence VHX 2000

6 Technicko - ekonomické zhodnocení

6.1 Technické zhodnocení

Z technického hlediska je možné měřit geometrii optických segmentů světlovodu všemi způsoby, které má oddělení EP k dispozici. Patří sem jak bezkontaktní metody měření optickým skenerem nebo digitálním mikroskopem, tak kontaktní způsob měření souřadnicovými stroji. Ale jen optický skener umožňuje měřícím technikům zpětně využívat již nasnímaná data pro různé způsoby matematického vyrovnání, či jiných možností vyhodnocení. Archivovaná data mohou také sloužit pro srovnávání s aktuálně vyrobenými světlovody, čímž může být kontrolována kvalita dílu během jeho celého výrobního cyklu. V oblasti vyhodnocování naměřených výsledků je systém Atos Core doplněn o program Atos Viewer, pomocí kterého si uživatel může definovat různé způsoby ustavení a vyhodnocení.

6.2 Ekonomické zhodnocení

Ve společnosti Hella Autotechnik s. r. o. se ročně navrhne a vyrobí několik desítek nových světlovodů pro celý koncern. Všechny prvotně vyrobené světlovody musí projít rozměrovou kontrolou optických segmentů, jejichž geometrie zajišťuje správnou funkci těchto dílů. Z ekonomického hlediska byla posuzována zejména rychlost přípravy měření a rychlost samotného měření. Nejnižší náklady na vyhodnocení těchto kritérií vykazoval optický skener Atos Core 185. Celková doba pro změření a vyhodnocení tří optických segmentů optickým skenerem činí 42 minut což je časová úspora 15 minut oproti digitálnímu mikroskopu Keyence VHX 2000 a 50 minut oproti souřadnicovému stroji Contura G2. Z tabulky 6.1 je patrné, že denní úspora měřícího zařízení Atos Core 185, je v rámci několika podobných projektů, jako je měření geometrie tří optických segmentů 5000 Kč oproti SMS Contura G2, respektive 3000 Kč při měření digitálním mikroskopem Keyence VHX 2000.

Tab. 6.1 – Finanční úspora systému Atos Core 185

Světlovod č. d. 198.240-01					
Měřicí zařízení	Doba pracovní směny (hod)	Doba měření 1 ks (hod)	Počet naměřených ks/směna	Náklady na měření (Kč/hod)	Finanční úspora zařízení Atos Core na 1 den (Kč)
Atos Core	7,5	0,7	10	1000	
Contura G2	7,5	1,5	5	1000	5000
Keyence VHX	7,5	1	7	1000	3000

7 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi kontroly a následného vyhodnocení optických ploch světlovodu pro denní svícení měřicími přístroji, kterými společnost Hella Autotechnik s. r. o. v současné době disponuje.

V úvodu práce byla připomenuta historie společnosti Hella Mohelnice až po její současný stav. Bylo zde uvedeno hlavní rozdělení vývojového a výrobního úseku této společnosti. Následně byla popsána obecná problematika měření malých součástí a vývoj měřicí techniky. Také bylo představeno oddělení EP, jeho rozdělení na jednotlivé úseky a vybavení měřicí technikou pro rozměrovou kontrolu.

V následující kapitole byly popsány jednotlivé měřicí přístroje, na kterých probíhala všechna měření a vyhodnocování. Jednalo se o optický digitální skener Atos Core 185, souřadnicový měřicí stroj Contura G2 a digitální mikroskop Keyence VHX 2000. U všech měřících přístrojů je uveden jejich princip měření, jejich softwarová výbava a další informace.

Praktická část byla zaměřena na porovnání všech měřících přístrojů, pomocí předem stanovených kritérií. Na základě získaných hodnot, byl následně vyhodnocen jako nejvhodnější přístroj pro kontrolu a vyhodnocování geometrie optických ploch světlovodu optický skener Atos Core 185. Ze zjištěných údajů rychlosti přípravy měření, rychlosti samotného měření a následného vyhodnocování naměřených hodnot, byla určena časová a finanční úspora získaná optickým skenerem.

V závěrečné části byly v technickém zhodnocení uvedeny výhody optického zařízení Atos Core 185 pro měření a vyhodnocování geometrie segmentů světlovodu. V ekonomickém zhodnocení bylo prokázáno, že měření a vyhodnocování jednotlivých segmentů světlovodu na optickém skeneru je nejvhodnější z časového a tím pádem i z finančního hlediska.

Na základě zjištěných výsledků v této diplomové práci je společnosti Hella Autotechnik s.r.o. doporučeno měřit geometrii optických ploch světlovodu na optickém měřicím zařízení Atos Core 185.

8 Seznam použité literatury

A) Odborná literatura

- [1] ČECH, Jaroslav; PERNIKÁŘ a Jiří; PODANÝ, Kamil. *Strojírenská metrologie I: studijní odborná publikace*. 5. vydání Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 188 s. ISBN 978-80-214-4010-4.
- [2] ČEPOVÁ, Lenka a PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní odborná publikace*: 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011. 125 s. ISBN: 978-80- 248-2514-4.
- [3] HRUBÝ, R. *Bezkontaktní měření složitých tvarů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012, 55 s
- [4] PROULX, Tom. *Optical measurements, modeling and metrology, volume 5*: 1. vydání New York: Springer, 2011. 420s. ISBN: 978-1-4614-0227-5.
- [5] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie část 1: studijní odborná publikace*: 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. 110 s. ISBN: 80-248-0671-1.

B) Internetové zdroje

- [6] Hella Autotechnik, s. r. o. CZ [online]. *Internetové stránky firmy* [cit. 2. 4. 2014]. Dostupné na internetu: < www.hella.com >.
- [7] Hella Autotechnik, s. r. o. DE [online]. *Internetové stránky firmy* [cit. 2. 2. 2014]. Dostupné na internetu:< <http://www.hella.com/hella-com/739.html?rdeLocaleAttr=de> >.
- [8] Keyence, [online]. *Digitální mikroskop VHX 2000*, [cit. 5. 3. 2014]. Dostupné na internetu: < <http://www.keyence.com/products/microscope/digital-microscope/vhx2000/features/feature-08.jsp> >.
- [9] MCAE, 3D digitální technologie [online]. *Atos Core*, [cit. 6. 2. 2014]. Dostupné na internetu: < <http://www.mcae.cz/atos-core> >.
- [10] MM Průmyslové spektrum [online]. *Současná měřicí a kontrolní technika*, březen 2007 [cit. 10. 2. 2014]. Dostupné na internetu:< <http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasna-merici-a-kontrolni-technika.html> >.

- [11] MM Průmyslové spektrum [online]. *Trendy zavádění zakázkových délkových měřidel*, červen 2003 [cit. 12. 2. 2014]. Dostupné na internetu:< <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-zavadeni-zakazkovych-delkovych-meridel.html> >.
- [12] MM Průmyslové spektrum [online]. *Souřadnicová měřicí technika*, březen 2011 [cit. 12. 2. 2014]. Dostupné na internetu:< <http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika.html> >.
- [13] MM Průmyslové spektrum [online]. *Směry v provozní strojírenské metrologii*, červen 2004 [cit. 12. 2. 2014]. Dostupné na internetu:< [http://www.mmspektrum.com/clanek/smery-v-provozni-strojirenske metrologii.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/smery-v-provozni-strojirenske-metrologii.html) >.
- [14] PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB - TUO, FS, říjen 2006 [cit. 10. 4. 2014]. Dostupný na internetu: < <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf> >.
- [15] Odborné časopisy [online]. *Návrh světlovodů pro použití v automobilovém osvětlení*, březen 2013 [cit. 12. 2. 2014]. Dostupné na internetu:< <http://www.odbornecasopisy.cz/navrh-svetlovodu-pro-pouziti-v-automobilovem-osvetleni-49711.html> >.
- [16] Zeiss [online]. *Souřadnicový měřicí stroj Contura G2* [cit. 12. 3. 2012]. Dostupné na internetu: < <http://www.zeiss.cz/imt> >.

C) Legislativa

- [17] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, duben 2011. 26 s.
- [18] ČSN ISO 7144 *Dokumentace. Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, březen 1997. 21 s.
- [19] ČSN ISO 5966 *Dokumentace. Formální úprava vědeckých a technických zpráv*. Praha: Český normalizační institut, leden 1996. 31 s.
- [20] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [21] ČSN ISO 80000-1 *Veličiny a jednotky. Část 1: Obecně*. Praha: Český normalizační institut, červenec 2011. 24 s.

D) Jiné zdroje

- [22] Podniková literatura (Manuál od firmy Keyence)
- [23] Podniková literatura (Manuál od firmy MCAE)
- [24] Podniková literatura (Manuál od firmy Zeiss)

9 Seznam příloh

Příloha č. 1: Měřicí protokol: Geometrie optického segmentu č. 10 v programu Atos Profesional

Příloha č. 2: Měřicí protokol: Geometrie optického segmentu č. 50 v programu Atos Profesional

Příloha č. 3: Měřicí protokol: Geometrie optického segmentu č. -10 v programu Atos Profesional

Příloha č. 4: Měřicí protokol: Geometrie optického segmentu č. 10 v programu Holos NT

Příloha č. 5: Měřicí protokol: Geometrie optického segmentu č. 50 v programu Holos NT

Příloha č. 6: Měřicí protokol: Geometrie optického segmentu č. -10 v programu Holos NT

Příloha č. 7: Měřicí protokol: Geometrie optického segmentu č. 10 v programu Keyence

Příloha č. 8: Měřicí protokol: Geometrie optického segmentu č. 50 v programu Keyence

Příloha č. 9: Měřicí protokol: Geometrie optického segmentu č. -10 v programu Keyence